

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

T. Okumura et al.

7/8/03

Q74987

10f1

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 7月 9日

出願番号

Application Number:

特願2002-200442

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-200442 ]

出願人

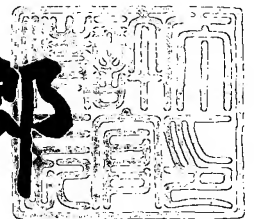
Applicant(s):

日本電気株式会社

2003年 4月11日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3025769

【書類名】 特許願

【整理番号】 34803817

【提出日】 平成14年 7月 9日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G02B 26/02

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号  
                        日本電気株式会社内

    【氏名】 奥村 俊之

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号  
                        日本電気株式会社内

    【氏名】 柳田 美穂

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号  
                        日本電気株式会社内

    【氏名】 柳町 成行

【特許出願人】

    【識別番号】 000004237

    【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100086759

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 渡辺 喜平

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 013619

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001716

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチサブシステム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を入力する複数の入力光ポートと、  
光信号を出力する複数の出力光ポートと、  
微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、  
上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、  
前記光スイッチサブシステムの動作特性を測定し、その測定結果に関して自己診断を行う自己診断手段を備える  
ことを特徴とする光スイッチサブシステム。

【請求項 2】 前記動作特性が、前記光路のスイッチング時間であることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 3】 前記動作特性が、前記光スイッチ部に入力する制御入力値、または、制御入力値を算出するために用いる制御器内部の状態変数であることを特徴とする請求項 1 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 4】 前記自己診断手段が、前記自己診断の結果を前記上位システムに通知することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 5】 前記自己診断手段が、前記動作特性をランク分けし、このランク情報を前記上位システムに通報することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 6】 前記自己診断が、前記上位システムからの命令によることなく行われることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 7】 光信号を入力する複数の入力光ポートと、  
光信号を出力する複数の出力光ポートと、  
微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光

ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、

上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、

前記光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うキャリブレーション手段を備える

ことを特徴とする光スイッチサブシステム。

【請求項 8】 前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力の制御器出力補正値を対象として行われることを特徴とする請求項 6 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 9】 前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力と、前記光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲインを対象として行われることを特徴とする請求項 7 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 10】 前記キャリブレーションが、前記上位システムからの命令によることなく、光スイッチサブシステムの起動時及び所定時間毎に行われることを特徴とする請求項 7～9 のいずれかに記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 11】 光信号を入力する複数の入力光ポートと、

光信号を出力する複数の出力光ポートと、

微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、

上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、

前記光スイッチサブシステムの動作特性を測定し、その測定結果に関して自己診断を行う自己診断手段と、

前記光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うキャリブレーション手段とを備える

ことを特徴とする光スイッチサブシステム。

【請求項 12】 前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力の制御器出力補正値を対象とし、

前記自己診断が、前記制御器出力補正値にもとづいて行われる

ことを特徴とする請求項 1 1 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 1 3】 前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力と、前記光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲインを対象とし、前記自己診断が、前記変換補正ゲインにもとづいて行われることを特徴とする請求項 1 1 記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 1 4】 前記自己診断にて故障と診断したとき、前記キャリブレーションを実行することを特徴とする請求項 1 1 ～ 1 3 のいずれかに記載の光スイッチサブシステム。

【請求項 1 5】 前記キャリブレーションの実行後、前記自己診断を再度実行し、ここで故障と診断したとき、前記上位システムに通知を行うことを特徴とする請求項 1 4 記載の光スイッチサブシステム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバ通信ネットワークなどの光通信システムにおいて、光路のスイッチングを行う光スイッチサブシステムに関し、特に、微小電気機械（MEMS）を用いて構成される光スイッチサブシステムに関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

近年、光ファイバ通信ネットワークに代表される光通信システムにおいては、信号多重技術などの発展に伴い、光路のスイッチングを行う光スイッチ（光スイッチサブシステム）の必要性が高まっている。

例えば、波長分割多重方式（WDM）の光ファイバ通信ネットワークでは、多重化された光信号を、ネットワーク上の各ノードで選択的に分岐させた後、光スイッチを用いて経路の切り換えを行っている。

そして、光スイッチにおいては、今後予想される伝送容量の増大に対応するために、多チャンネル化や大規模化が要求されている。

【 0 0 0 3 】

光スイッチには、反射ミラーの角度制御にもとづいて光路のスイッチングを行

う機械式のものがある。この方式の光スイッチによれば、光信号を電気信号などの他種の信号に変換することなく、光信号のまま光路を切り換えることができるため、スイッチングによる遅延時間を最小化できるばかりでなく、伝送速度に依存しない光路のスイッチングが可能になる。

【 0 0 0 4 】

特に、微小電気機械を用いて構成される光スイッチは、その製造過程において半導体集積回路の微細加工技術を利用しているため、小型化、集積化、アレイ化、高精度化などが可能であり、今後の多チャンネル化や大規模化に十分対応できるものとして期待されている。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、微小電気機械を用いて構成される光スイッチは、反射ミラーの可動部分にヒンジなどの機械的な可動部品を有するため、環境温度の変化、スイッチングの頻度、ミラー駆動角度の大小などに影響を受け、反射ミラー角度が経時的に変化するという問題がある。

すなわち、微小電気機械で構成される反射ミラーを静電駆動する場合は、ミラー電極に一定の電圧を印加しても、経時変化により所定のミラー角度を得ることができない。

仮に、出力光ポートの光強度検出にもとづいて、反射ミラー角度をフィードバック制御したとしても、経時変化が大きい場合には、応答の悪化によりスイッチング時間が通常よりも長くなり、光通信システムの性能及び信頼性を損なう可能性がある。

【 0 0 0 6 】

また、上記光スイッチでは、反射ミラーの可動部分における経時的な劣化などに起因し、スイッチング不良が起る可能性がある。このような状況を認識することなく、上位システムが光スイッチの使用を継続した場合には、光スイッチが突然不通状態に陥り、光通信システムの信頼性が低下する可能性がある。

この問題に対処するために、上位システムから光スイッチに動作チェックを指令し、その結果を確認してから、光スイッチに光信号を通すことが提案される。

しかしながら、この場合には、上位システムの負担が増大するため、光通信システムの性能が低下する不都合がある。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記の事情にかんがみなされたものであり、サブシステムの動作特性を自己診断することにより、上位システムの負担を軽減しつつ、光通信システムの信頼性を向上させることができ、また、光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うことにより、スイッチング時間を短縮して光通信システムの性能を向上させることができる光スイッチサブシステムの提供を目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の光スイッチサブシステムは、光信号を入力する複数の入力光ポートと、光信号を出力する複数の出力光ポートと、微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、前記光スイッチサブシステムの動作特性を測定し、その測定結果に関して自己診断を行う自己診断手段を備える構成としてある。

【 0 0 0 9 】

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、光スイッチサブシステム内の動作特性について自己診断を行うことが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステムの信頼性を高めることができるとともに、上位システムの負担を軽減して、光通信システムの性能を向上させることができる。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記動作特性が、前記光路のスイッチング時間で構成してある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、光スイッチ部におけるスイッチング動作時の状況を把握することができるため、光スイッチ部の不具合に



よる通信障害などを事前に防止することが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステム及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

【 0 0 1 1 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記動作特性が、前記光スイッチ部に入力する制御入力値、または、制御入力値を算出するために用いる制御器内部の状態変数で構成してある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、光スイッチ部における反射ミラー角度保持動作時（光信号通信時）の状況を把握することができるため、光スイッチ部の不具合による通信障害などを事前に防止することが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステム及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記自己診断手段が、前記自己診断の結果を前記上位システムに通知する構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、上位システムが、光スイッチサブシステムの動作状況を把握できるため、光スイッチサブシステムの不具合による通信障害を上位システム側で防止することが可能になる。

これにより、光通信システムの信頼性を向上させることができる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記自己診断手段が、前記動作特性をランク分けし、このランク情報を前記上位システムに通報する構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、上位システムが、光スイッチサブシステムの詳細な動作状況を把握できるため、光スイッチサブシステムのスイッチング可否に関する二値的な判断だけでなく、通報内容の経時的な変化にもとづいて、故障の予測なども行うことが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステムの不具合による通信障害を上位システム側で事前に防止し、光通信システムの信頼性を更に向上させることができる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記自己診断が、前記上位システムのからの命令によることなく行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、上位システムに負担をかけることなく、光スイッチサブシステム内の動作特性について自己診断を行うことが可能になる。

これにより、上位システムの負担を更に軽減して、光通信システムの性能を向上させることができる。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、光信号を入力する複数の入力光ポートと、光信号を出力する複数の出力光ポートと、微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、前記光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うキャリブレーション手段を備える構成としてある。

【 0 0 1 6 】

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、光スイッチ部の経時変化による応答の悪化を改善し、スイッチング時間を短縮することが可能になる。

また、キャリブレーションは、光スイッチサブシステム側の判断で実行できるため、上位システムの負担を軽減して、光通信システムの性能を向上させることができる。

【 0 0 1 7 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力の制御器出力補正値を対象として行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、制御器出力補正値のずれによる応答の悪化を改善し、スイッチング時間を短縮することができる。

【 0 0 1 8 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力と、前記光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲインを対象として行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、反射ミラー駆動におけるオーバーシュートを抑制し、スイッチング時間を短縮することができる。

【 0 0 1 9 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションが、前記上位システムからの命令によることなく、光スイッチサブシステムの起動時及び所定時間毎に行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、上位システムに負担をかけることなく、定期的にキャリブレーションを実行することができる。

【 0 0 2 0 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、光信号を入力する複数の入力光ポートと、光信号を出力する複数の出力光ポートと、微小電気機械を用いて構成され、複数の前記入力光ポートと複数の前記出力光ポートとの間で光路のスイッチングを行う光スイッチ部と、上位システムからの命令により、前記光スイッチ部をスイッチング動作させる制御部とから構成される光スイッチサブシステムであって、前記光スイッチサブシステムの動作特性を測定し、その測定結果に関して自己診断を行う自己診断手段と、前記光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うキャリブレーション手段とを備える構成としてある。

【 0 0 2 1 】

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、光スイッチサブシステム内の動作特性について自己診断を行うことが可能になる。

また、光スイッチ部の経時変化による応答の悪化を改善し、スイッチング時間を短縮することが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステムの信頼性を高めることができるとともに、上位システムの負担を軽減して、光通信システムの性能を向上させることができる。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力の制御器出力補正値を対象とし、前記自己診断が、前記制御器出力補正値にもとづいて行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、キャリブレーションの対象である制御器出力補正値にもとづいて、光スイッチ部などの状況を正確に自己診断することが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステムの不具合による通信障害などを事前に防止し、光通信システムの信頼性を向上させることができる。

#### 【 0 0 2 3 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションが、前記光スイッチ部に入力する制御入力と、前記光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲインを対象とし、前記自己診断が、前記変換補正ゲインにもとづいて行われる構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、キャリブレーションの対象である変換補正ゲインにもとづいて、光スイッチ部などの状況を正確に自己診断することが可能になる。

これにより、光スイッチサブシステムの不具合による通信障害などを事前に防止し、光通信システムの信頼性を向上させることができる。

#### 【 0 0 2 4 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記自己診断にて故障と診断したとき、前記キャリブレーションを実行する構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、故障診断の原因が、キャリブレーションによって解消されることを期待できる。

#### 【 0 0 2 5 】

また、本発明の光スイッチサブシステムは、前記キャリブレーションの実行後、前記自己診断を再度実行し、ここで故障と診断したとき、前記上位システムに通知を行う構成としてある。

光スイッチサブシステムをこのような構成にすれば、故障診断の原因が、キャリブレーションによって解消された場合、上位システムへの通報を回避すること

ができる。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

〔第一実施形態〕

まず、本発明の第一実施形態について、図 1 を参照して説明する。

図 1 は、本発明の第一実施形態における光スイッチサブシステムの概略構成を示すブロック図である。

【 0 0 2 7 】

この図に示すように、光スイッチサブシステム 1 は、サブシステム制御部 1 1 と、スイッチモジュール制御部 1 2 と、ドライバ回路 1 3 と、光スイッチ部 1 4 と、メモリ 1 5 と、入力光ファイバ 1 6 と、出力光ファイバ 1 7 と、光強度モニタ 1 8 と、光源 1 9 とを備えている。

【 0 0 2 8 】

サブシステム制御部 1 1 は、上位システム 2 0 とのインタフェースを持ち、光スイッチサブシステム 1 全体の制御を行う。スイッチモジュール制御部 1 2 は、サブシステム制御部 1 1 からの命令に応じて、光スイッチ部 1 4 のミラー駆動制御を行う。ドライバ回路 1 3 は、スイッチモジュール制御部 1 2 から出力されたミラー駆動用の制御電圧を、光スイッチ部 1 4 の静電駆動に必要な電圧に増幅する。

【 0 0 2 9 】

光スイッチ部 1 4 は、微小電気機械チップ（MEMS チップ）を用いて構成されている。光スイッチ部 1 4 には、静電駆動により所定の角度に動作される複数の反射ミラー（図示せず）と、複数の入力光ファイバ 1 6 が接続される複数の入力光ポート（図示せず）と、複数の出力光ファイバ 1 7 が接続される複数の出力光ポート（図示せず）とが構成されている。

【 0 0 3 0 】

光スイッチ部 1 4 は、ドライバ回路 1 3 からの駆動電圧を入力すると、これを所定の反射ミラーの電極に印加する。このとき、反射ミラーは、静電気力により

所定の角度に駆動され、所定の入力光ポートと所定の出力光ポートとを光学的に接続する。このようなミラー駆動を様々なパターンで行うことにより、入力光ファイバ 1 6 の各ポートと、出力光ファイバ 1 7 の各ポートと間の光学的な接続を、任意にスイッチングすることが可能になる。

#### 【 0 0 3 1 】

メモリ 1 5 は、サブシステム制御部 1 1 又はスイッチモジュール制御部 1 2 に接続され、ミラー駆動に関する制御パラメータを記憶する。この制御パラメータには、例えば、光スイッチ部 1 4 における所定の入出力ポート間の接続に必要な各反射ミラー電極への印加電圧値と、微動・粗動などのミラー駆動に必要な各種パラメータと、光強度基準値と、前回サンプリングまでのミラー駆動に関する履歴データとが含まれている。

なお、メモリ 1 5 は、サブシステム制御部 1 1 とスイッチモジュール制御部 1 2 との双方に接続され、データのやり取りが可能なデュアルポート R A M であってもよい。

#### 【 0 0 3 2 】

光強度モニタ 1 8 は、タップカプラ（図示せず）と、フォトダイオード（図示せず）とを備えている。タップカプラは、出力光ファイバ 1 7 の指定ポートから出力光の一部（例えば 1 0 %）を分岐する。フォトダイオードは、分岐した出力光の光/電気変換を行い、出力光ファイバ 1 7 内における出力光の光強度に応じたアナログ信号を出力する。

#### 【 0 0 3 3 】

光源 1 9 は、レーザ発光ダイオード（図示せず）と、タップカプラ（図示せず）とを備えている。レーザ発光ダイオードは、光スイッチ部 1 4 のスイッチング動作の試験・測定のための試験光を発光する。タップカプラは、試験光を入力光ファイバ 1 6 の指定ポートへ入力する。

#### 【 0 0 3 4 】

図 2 は、第一実施形態におけるサブシステム制御部の機能構成を示すブロック図である。

この図に示すように、サブシステム制御部 1 1 は、C P U 1 1 1 と、タイマ 1

1 2 と、光強度測定器 1 1 3 とを備えている。

タイマ 1 1 2 は、CPU 1 1 1 からのコマンドに応じて時間をカウントし、経過時間を計測する。光強度測定器 1 1 3 は、CPU 1 1 1 からの選択出力ポート信号に応じて、光強度モニタ 1 8 の指定ポートからアナログ光強度信号を入力し、これをデジタル数値化して CPU 1 1 1 に光強度測定値として供給する。

#### 【 0 0 3 5 】

CPU 1 1 1 は、上位システム 2 0 やスイッチモジュール制御部 1 2 との通信機能を備える。

上位システム 2 0 との通信機能には、光ファイバ通信ネットワーク上に接続された上位システム 2 0 から所定ポート間の接続命令 2 1 を受信する機能と、所定ポート間の接続完了通知 2 2 を上位システム 2 0 へ送信する機能とが含まれている。

また、スイッチモジュール制御部 1 2 との通信機能には、接続命令 2 1 をスイッチモジュール制御部 1 2 へ出力する機能と、光強度測定器 1 1 3 からの光強度測定値をスイッチモジュール制御部 1 2 へ通知する機能と、スイッチモジュール制御部 1 2 からの接続結果情報を読み込む機能とが含まれている。

#### 【 0 0 3 6 】

そして、CPU 1 1 1 は、メモリ 1 5 からの読み込みデータ、光源 1 9 への発光コマンド、スイッチモジュール制御部 1 2 からのデータ、光強度測定器 1 1 3 からのデータ、タイマ 1 1 2 からのカウント結果などを処理（集計、比較判断、演算など）し、光スイッチサブシステム 1 の全体制御を行う。

#### 【 0 0 3 7 】

図 3 は、第一実施形態におけるスイッチモジュール制御部の機能構成を示すブロック図である。

この図に示すように、CPU 1 2 1 と、スイッチング回路 1 2 2 とを備えている。

CPU 1 2 1 は、サブシステム制御部 1 1 からの接続命令 2 1 に応じて、光スイッチ部 1 4 上の各反射ミラーの駆動制御や演算処理を行う。そのため、CPU 1 2 1 は、一定間隔のサンプリング時間で各パラメータやデータを読み込み、そ

の処理結果である制御電圧を、スイッチング回路 1 2 2 を経由してドライバ回路 1 3 に出力する。

#### 【0 0 3 8】

また、CPU 1 2 1 は、メモリ 1 5 から読み込んだ所定の反射ミラーに関する光強度基準値と、サブシステム制御部 1 1 から読み込んだ光強度測定値とを比較・判断し、その結果をサブシステム制御部 1 1 に通知する機能も備えている。

#### 【0 0 3 9】

図 4 は、第一実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

この図に示すように、フィードバック制御系は、制御対象 3 0 と、制御器 3 1 と、比較部 3 2 とを備えている。

制御対象 3 0 は、CPU 1 2 1 が制御動作を行うために反射ミラー部分をモデル化した部分である。例えば、スイッチング回路 1 2 2 と、ドライバ回路 1 3 と、光スイッチ部 1 4 と、光強度モニタ 1 8 と、光強度測定器 1 1 3 と、CPU 1 1 1 とにおける機能の一部を含み、制御器 3 1 のパラメータを算出するためにモデル化した部分である。

#### 【0 0 4 0】

制御対象 3 0 は、制御器出力 3 5 を入力し、制御出力 3 3 を出力する。このとき制御出力 3 3 には、光強度測定値を用いる。

また、光強度測定器 1 1 3 の代わりに、XY 座標を検出する 2 次元ポジションセンサを用いた場合には、制御出力として XY 座標値を用いる。

また、電荷の測定やヒンジ部の電気抵抗などから反射ミラー角度を算出する角度センサを用いた場合には、制御出力としてミラー角度を用いる。

#### 【0 0 4 1】

制御器 3 1 は、例えば、PID 補償器と状態オブザーバとを備えている。また、位相進み遅れ補償器、 $H_{\infty}$  制御器、外乱オブザーバ、非線形ゲイン制御器など、線形あるいは非線形の制御器を用いることができる。

制御器 3 1 は、光スイッチ部 1 4 に設けられた所定反射ミラー電極への印加電圧（プリセット値）、制御器 3 1 への変数、基準値（I r e f）などの制御パラ



メータ及びデータ 3 7 を、一定サンプリング周期でメモリ 1 5 から入力する。

また、制御器 3 1 は、制御出力 3 3 及び目標値入力 3 4 を、一定サンプリング周期でサブシステム制御部 1 1 から入力する。

そして、制御器 3 1 は、これらをもとにミラー駆動に関する制御・演算処理を行い、制御器出力 3 5 を出力する。

#### 【 0 0 4 2 】

比較部 3 2 は、制御出力 3 3 と、メモリ 1 5 から読み込まれた基準値 ( I r e f ) 3 6 との比較を行う部分である。比較部 3 2 は、制御出力 3 3 と基準値 3 6 とを入力し、判定結果 3 8 を出力する。ここで、制御出力 3 3 として光強度を選択した場合には、基準値として光強度基準値を用いる。なお、本実施形態では比較部 3 2 への入力を制御出力 3 3 としているが、制御入力 4 5、制御器出力補正值 4 3、変換補正ゲインなどを比較部 3 2 への入力とする場合も本発明に含まれる。

#### 【 0 0 4 3 】

つぎに、第一実施形態における光スイッチサブシステム 1 の全体動作について、図 5 を参照して説明する。

図 5 は、第一実施形態における光スイッチサブシステムの全体動作を示すフローチャートである。

#### 【 0 0 4 4 】

この図に示すように、光スイッチサブシステム 1 は、所定の初期設定 ( 図 5 の S 1 ) を行った後、制御動作モードとなる。

制御動作モードでは、所定のサンプリング間隔にて、一つの入力光ポートと、それに接続された出力光ポートとに関する反射ミラー制御を行った後、次の入力光ポートに制御対象が順次切り換えられる。

#### 【 0 0 4 5 】

この制御動作モードには、通信モードと、スイッチングモードとの 2 種類がある。通信モードは、制御対象となった入出力光ファイバ 1 6、1 7 のポート間が、光通信に必要な光強度を保つように、それぞれの反射ミラー毎の制御パラメータ設定、光強度測定、演算制御及びドライバ出力を行うフィードバック制御であ

る（図 5 の S 2）。

【 0 0 4 6 】

スイッチングモードは、入出力光ファイバ 1 6、1 7 の所定ポート間接続を切り換えるために、まず、切り換え対象以外の反射ミラーの状態量を保持する。その後、光を通さずに光スイッチ部 1 4 の反射ミラー角度を変化させる粗動モード（図 5 の S 3）を行う。さらにその後、光源 1 9 からの光強度を観測しながらミラー角度の微調整を行う微動フィードバックモード（図 5 の S 4）を行う。この連続する 2 種類のモードで反射ミラー角度が変更される。

【 0 0 4 7 】

つぎに、第一実施形態におけるスイッチング時（反射ミラー駆動による光路切り換え動作時）の自己診断動作（自己診断手段）について、図 6 ～図 9 を参照して説明する。

図 6 は、第一実施形態における自己診断動作（スイッチング時）を示すフローチャート、図 7 は、自己診断動作におけるスイッチ動作指示を示すフローチャート、図 8 は、自己診断動作におけるスイッチングモードミラー駆動を示すフローチャート、図 9 は、自己診断動作におけるランク判断を示すフローチャートである。

【 0 0 4 8 】

スイッチング時においては、上位システム 2 0 からサブシステム制御部 1 1 に対して所定ポート間の接続命令 2 1 が出力される。この命令にしたがい、サブシステム制御部 1 1 は、図 6 に示す動作を行う。

【 0 0 4 9 】

サブシステム制御部 1 1 の CPU 1 1 1 は、接続命令 2 1 を受けると、スイッチ動作指示を行う（図 6 の S 1）。

図 7 に示すように、接続命令を受信すると（図 7 の S 1）、スイッチモジュール制御部 1 2 に、該当するポート番号を供給し（図 7 の S 2）、タイマ 1 1 2 のカウントをスタートさせる（図 7 の S 3）。

更に、光強度モニタ 1 8 に対して、出力ポートの選択指示と、光強度測定器 1 1 3 への出力指示とを行う。その後、光強度測定器 1 1 3 は、供給された光強度

信号のデジタル化処理を開始する（図 7 の S 4）。また、光源 1 9 に対してテスト光の発光を指示する（図 7 の S 5）。

【 0 0 5 0 】

つぎに、スイッチモジュール制御部 1 2 に対してスイッチングモードミラー駆動を指示する（図 6 の S 2）。

図 7 に示すように、スイッチモジュール制御部 1 2 は、前述した粗動モード及び光強度による微動フィードバック制御動作を行う。

【 0 0 5 1 】

スイッチモジュール制御部 1 2 の CPU 1 2 1 は、入力された所定ポート間の接続に必要な各ミラー電極への制御入力のプリセット値、制御器への変数、光強度基準値などのデータをメモリ 1 5 から読み取る（図 8 の S 1）。

その後、光スイッチ部 1 4 の反射ミラーが所定ポート間を接続するように、所定の角度を目標として所定ミラー電極への制御電圧を演算処理し、ドライバ回路 1 3 に出力する（図 8 の S 2）。

ドライバ回路 1 3 は、入力された制御電圧を増幅し、所定ミラー電極に駆動電圧を印加し、反射ミラーを駆動する（図 8 の S 3）。これら S 2 及び S 3 のステップにおいて粗動モード動作を行う。

【 0 0 5 2 】

粗動モード完了後、光源 1 9 にテスト光発光コマンドを出力する（図 8 の S 4）。その後、所定出力ポートに接続された光強度モニタ 1 8 からテスト光強度信号が光強度測定器 1 1 3 に入力される。このテスト光強度信号は数値化され、CPU 1 1 1 に供給されると同時に、スイッチモジュール制御部 1 2 に入力される（図 8 の S 5）。

【 0 0 5 3 】

スイッチモジュール制御部 1 2 では、メモリ 1 5 から読み込まれた光強度基準値  $I_{ref}$  と、S 5 にて測定された光強度  $I$  とを比較し（図 8 の S 6）、光強度基準値  $I_{ref}$  よりも小さい場合には、制御器出力演算を行って制御電圧を出力し（図 8 の S 7）、ドライバ回路 1 3 により所定ミラーを駆動する（図 8 の S 8）。

これら S 5 ～ S 8 のステップにより、光強度信号による微動フィードバック制御が行われ、所定ポート間の接続を目指す。

#### 【 0 0 5 4 】

光強度  $I$  が光強度基準値  $I_{ref}$  以上となった場合には、テスト光終了コマンドを光源 19 に出力し（図 8 の S 9）、スイッチモジュール制御部 12 は、サブシステム制御部 11 に対して完了通知を行う（図 8 の S 10）。

完了通知を受けたサブシステム制御部 11 の CPU 111 は、S 1 にて開始したタイマカウントを停止し、S 1 から完了通知を受けた時間までの経過時間を算出する（図 6 の S 4）。

#### 【 0 0 5 5 】

つぎに、サブシステム制御部 11 の CPU 111 が得たスイッチング時間と、予め接続ミラー毎に基準として設定されている値及び最大許容値（例えば、基準値が 7 m S で、最大許容値 10 m S）とを比較し、ランク分け判断を行う。

ここで設定されている基準値は、装置のスイッチ素子数（規模）、駆動する反射ミラー配置、接続するポートにより異なり、MEMS ミラー素子の製造のばらつきなども考慮して設定される。また、最大許容値は、上位システム 20 において、光スイッチサブシステム 1 が不良と判断されない最大値などとする（図 6 の S 5）。

#### 【 0 0 5 6 】

例えば、図 9 に示すように、スイッチング時間が基準値の + 1 0 % ～ - 2 0 % の範囲内（図 9 の S 1）にあれば、A とランクする（図 9 の S 2）。この場合には、反射ミラーの駆動に問題はなく、正常に駆動していると判断する。

つぎに、+ 1 0 % ～ 2 0 % の範囲外の場合において、スイッチング時間が基準値の 0. 8 倍以下（図 9 の S 3）、または、最大許容値以下（図 9 の S 4）の場合には、前回の接続時におけるスイッチング時間との比較を行い、変動が 5 0 % 以内（図 9 の S 5）であれば、ランク A' とする（図 9 の S 6）。このランクでは、反射ミラーの動作は上位システム 20 の通信には問題ないものであるが、動作としては要注意と判断する。

そして、それ以外のものについては、ランク B とし（図 9 の S 7）、使用不可

ミラーと判断する。これは、ミラーの動作が緩慢であり、動作が不安定になっているからである。

【 0 0 5 7 】

上記の動作で得たデータは、メモリ 1 5 に格納され、次のスイッチング時のランク判断材料として用いる（図 6 の S 6）。

その後、サブシステム制御部 1 1 は、スイッチング終了通知、ランク情報（使用不可の場合はスイッチ動作不可情報）などを上位システム 2 0 に完了通知 2 2 として通知する（図 6 の S 7）。

これにより、光スイッチサブシステム 1 におけるスイッチング時の自己診断動作が完了する。

【 0 0 5 8 】

なお、スイッチング時間に関する判断基準やランク数は、ここで挙げたものに限定されるわけではなく、光スイッチのミラー素子数、配置、素子特性、駆動条件などによって変化し得るものである。

例えば、ランク B と判断されたものを、更に反射ミラーの駆動角度により細分化し、小角度及び大角度でのスイッチング時間をクラス分けしてもよい。また、上位システム 2 0 に通知する情報についても、ランクだけではなく、スイッチング時間自体を通知することができる。

【 0 0 5 9 】

上記のように構成された第一実施形態によれば、上位システム 2 0 からの命令により光スイッチ部 1 4 のポート接続動作を行う際、光スイッチサブシステム 1 内にてスイッチング時間を計測する。このスイッチング時間は、基準値や最大許容値との比較により、ランク分けされ、上位システム 2 0 にスイッチング完了通知と共に通知される。

【 0 0 6 0 】

これにより、上位システム 2 0 では、スイッチング可否に関する二値的な情報だけでなく、スイッチング動作の状況に関する情報が提供されることとなり、スイッチング不具合、動作不能といった故障予測に関する判断材料とすることができる。

したがって、これら動作状況に関する情報を活用することにより、突然の不通を避けることが可能となり、光通信ネットワークの信頼性を高めることが可能となる。

## 【 0 0 6 1 】

また、上位システム 20 は、ランク分けされた情報を元に、要注意の接続ポートを判断することができる。そして、このような接続ポートは、予備ポートに振り分けることができるため、上位システム 20 で用いるファイバの再構成、要求される通信品質の応じたポート配置の再構成などを行うことにより、資源の有効活用が可能となる。

## 【 0 0 6 2 】

## 〔第二実施形態〕

つぎに、本発明の第二実施形態について、図 10 及び図 11 を参照して説明する。但し、前記実施形態と共通する構成については、符号を援用し、詳細な説明を省略する。

図 10 は、第二実施形態における自己診断動作（光信号通信時）を示すフローチャート、図 11 は、自己診断動作におけるランク判断を示すフローチャートである。

## 【 0 0 6 3 】

第二実施形態の光スイッチサブシステム 1 は、ハードウェア的に見ると、第一実施形態のものとほぼ同じであるが、自己診断動作を光信号通信時（反射ミラーの角度保持状態）に行う点が第一実施形態と相違している。

## 【 0 0 6 4 】

光信号通信時には、第一実施形態で説明したように、光スイッチサブシステム 1 が入出力光ポートの接続状態を維持する。つまり、光スイッチ部 14 の反射ミラーが一定の角度を保持するように、所定のサンプリング周期でスイッチモジュール制御部 12 によるフィードバック制御を行っている。

## 【 0 0 6 5 】

図 10 に示すように、所定ポート間が接続された通信時には、スイッチモジュール制御部 12 がメモリ 15 から前回サンプリング時のデータを含む制御

パラメータを読み取る（図 1 0 の S 1）。また、サブシステム制御部 1 1 からのデータによる光強度測定を行う（図 1 0 の S 2）。

これらの値を元に制御演算を行い（図 1 0 の S 3）、制御入力をドライバ回路 1 3 へ供給し、ミラー駆動を行う（図 1 0 の S 4）。制御演算で新たに得られた制御入力などの制御パラメータは、再度メモリ 1 5 に記憶され、次回サンプリング時の制御パラメータとして使用される。

#### 【 0 0 6 6 】

サブシステム制御部 1 1 では、図 1 1 に示すように、制御パラメータのうち、制御器出力のプリセット値と、今回サンプリング時の制御演算によって新たに得られた制御器出力との比較（差分）を行う。

今回の制御器出力がプリセット値と同一であれば差分は 0 となる。差分が  $\pm N$  以内（図 1 1 の S 1）の場合には、ランク A とする（図 1 1 の S 2）。この場合には、反射ミラーの駆動に問題はなく、正常に通信が行われていると判断する。

#### 【 0 0 6 7 】

ここで  $N$  は、光強度レベルが変化しない範囲内のミラー角度変動に相当する制御入力であり、反射ミラー径、配置、スイッチ規模、スイッチ素子特性（角度－電圧）によって変化する数値である。

差分が  $\pm N \sim \pm M$  ( $M > N$ ) の場合（図 1 1 の S 3）、ランク A' とする（図 1 1 の S 4）。このランクでは、反射ミラーの動作は上位システム 2 0 の通信には問題ないものであるが、光強度に劣化が見られると判断する。

#### 【 0 0 6 8 】

ここで  $M$  は、光強度が通信に支障ないレベルに劣化したミラー角度に相当する制御入力であり、ランク A の場合と同様に諸条件によって変化する数値である。

差分が  $\pm M$  以上の場合は、ランク B とする（図 1 1 の S 5）。このランクでは、光強度の劣化が制御可能範囲以上であり、通信に支障があるため使用不可と判断する。

その後、以上の判断結果を上位システム 2 0 に通知する。

#### 【 0 0 6 9 】

なお、ここでは、ランク判断値を、今回サンプリング時の制御器出力とプリセ

ット値との差分として説明したが、過去のサンプリング時における差分の全て、あるいは一部をメモリ 1 5 に記憶し、この差分の推移を判断基準としてもよい。

#### 【 0 0 7 0 】

上記のように構成された第二実施形態によれば、第一実施形態とほぼ同じ効果を発揮することができる。しかも、第二実施形態では、光スイッチ部 1 4 が反射ミラー角度保持動作時（光信号通信時）であっても、光スイッチ部 1 4 の自己診断を行うことができるという利点がある。その結果、光スイッチ部 1 4 の不具合による通信障害などを事前に防止し、光スイッチサブシステム 1 及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

#### 【 0 0 7 1 】

##### 〔第三実施形態〕

つぎに、本発明の第三実施形態について、図 1 2 を参照して説明する。但し、前記各実施形態と共通する構成については、符号を援用し、詳細な説明を省略する。

図 1 2 は、第三実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

#### 【 0 0 7 2 】

第三実施形態の光スイッチサブシステム 1 は、ハードウェア的に見ると、前記実施形態のものとほぼ同じであるが、光スイッチ部 1 4 の制御に関するキャリブレーション動作を行うとともに、キャリブレーションの対象となる制御器出力補正值（制御入力プリセット値）にもとづいて自己診断動作を行う点が前記実施形態と相違している。

また、第三実施形態においては、システム起動時、所定時間毎、故障診断後などにキャリブレーションを実行するが、その点は、以降の実施形態も同じである。

#### 【 0 0 7 3 】

図 1 2 に示すように、フィードバック制御系は、制御対象 3 0 と、制御器 3 1 と、比較部 3 2 と、制御器出力補正部 4 0 と、信号加算部 4 1 と、ゲイン補正部 4 2 とを備えている。



制御器出力補正部 4 0 は、制御器 3 1 が算出した制御器出力 3 5 の補正に使用される制御器出力補正值 4 3（所定反射ミラー電極への制御入力のプリセット値）を演算する。

#### 【 0 0 7 4 】

制御器出力補正值 4 3（プリセット値）は、過渡特性の改善を目的とし、反射ミラーの角度に応じて定常外乱やモデル化相当分を補正するためのもので、制御器出力 3 5 や制御器状態量（図示せず）にもとづいて算出される。

例えば、反射ミラーが一定の角度を保持する際に、制御器出力 3 5 が 0 にならずにある値を出力する場合、制御器出力 3 5 から算出した値（ある時刻の値、ある時間の一定値、ある時間の加算平均値、ある時間の最大値、ある時間の最小値、ある時間の最大値と最小値の和の  $1/2$  など）を制御器出力補正值 4 3 とする。

#### 【 0 0 7 5 】

また、制御器 3 1 を P I D 制御器により構成する場合には、制御器出力 3 5 の代わりに積分器の状態量に定数を掛けた値から算出した制御器出力補正值 4 3（プリセット値）とする。

さらに、位相進み・遅れ補償器では、制御器出力 3 5 の代わりに補償器の内部状態量に定数を掛けた値から算出した値を制御器出力補正值 4 3（プリセット値）とする。

このほか、制御器の状態量に定数や変数を掛けた値を制御器出力補正值 4 3（プリセット値）とする。

#### 【 0 0 7 6 】

信号加算部 4 1 は、複数の信号を加算して補正制御器出力 4 4 を算出する部分である。信号加算部 4 1 は、制御器出力 3 5 と制御器出力補正值 4 3（プリセット値）とを入力し、補正制御器出力 4 4 を出力する。

#### 【 0 0 7 7 】

ゲイン補正部 4 2 は、制御入力 4 5 から制御出力 3 3 までの定常ゲインが変動した場合、変動量を推定し、補正制御器出力 4 4 から制御出力 3 3 までの定常ゲインが設計値と一致するような補正を行う部分である。

例えば、ゲイン補正部 4 2 は、変数として補正ゲインを有する。補正ゲインは、制御対象の設計モデルのゲインと、実際のミラーのゲインとが等しい場合を 1 とする変数などであり、制御対象の設計モデルのゲインと、実際のミラーのゲインとの違いが生じた場合に、制御器出力 3 5 を補正する変数で定義する。

## 【 0 0 7 8 】

つぎに、第三実施形態における制御器出力補正值（制御入力プリセット値）のキャリブレーション動作（キャリブレーション手段）について、図 1 3 を参照して説明する。

図 1 3 は、第三実施形態におけるキャリブレーション動作（制御器出力補正值）を示すフローチャートである。

## 【 0 0 7 9 】

この図に示すように、制御器出力補正值のキャリブレーション動作は、開始コマンドを受けて制御系を選択する（図 1 3 の S 1 0 1）。続いて、制御器出力補正值 4 3（プリセット値）を計算するために必要な変数の初期化を行う（図 1 3 の S 1 0 2）。

つぎに、制御系を切り換えたことによる過渡特性が収まるまで、X サンプリング（X は任意の数）の間、補正值演算の開始を待つ（図 1 3 の S 1 0 3）。過渡特性待ちが終了したあと、新たに Y サンプリング（Y は任意の数）時間が経過したかどうか判定する（図 1 3 の S 1 0 4）。

## 【 0 0 8 0 】

Y サンプリング時間が経過しない場合には、制御器出力 3 5 の平均化など、制御器出力補正值 4 3（プリセット値）を算出するための演算を行い（図 1 3 の S 1 0 5）、制御動作を続ける。

Y サンプリング時間が経過した後、制御器出力補正值 4 3（プリセット値）を確定させ、メモリ内に格納されている制御器出力補正值テーブルを更新する（図 1 3 の S 1 0 6）。そして、キャリブレーション動作を終了する。

## 【 0 0 8 1 】

なお、図 1 3 のキャリブレーション動作において、制御系選択（S 1 0 1）と変数初期化（S 1 0 2）の順番は入れ替えてもよい。また、変数初期化（S 1 0

2) と切り換え直後の過渡特性待ち (S 1 0 3) の順番は入れ替えてもよい。

【 0 0 8 2 】

つぎに、上記キャリブレーション動作の具体例として、光微動フィードバックモード（光強度を測定し、制御器 3 1 として P I D 制御器を用いる。）を選択した場合のキャリブレーション動作について、図 1 4 を参照して説明する。

【 0 0 8 3 】

図 1 4 は、第三実施形態における作用を示す波形図である。

この図においては、制御器出力 3 5 の応答を制御器出力波形 5 0 a に示し、制御器出力補正值 4 3 （プリセット値）の応答を制御器出力補正值波形 5 1 a に示し、制御入力 4 5 の応答を制御入力波形 5 2 a に示し、目標値入力 3 4 と制御出力 3 3 との差である光強度誤差の応答を光強度誤差波形 5 3 a に示し、自己診断で用いる値を基準値 5 4 a に示す。

【 0 0 8 4 】

光微動フィードバックモードに切り換えた後、制御系の切り換えによる過渡特性が収まるまで待つ（X サンプリング）。つぎに、キャリブレーション開始から Y サンプリングの間、制御器出力波形 5 0 a の値が 0 になるように制御器出力補正值 4 3 （プリセット値）の更新値を計算する。

キャリブレーション終了後、電圧補正值波形 5 1 a は値を更新し、その結果、制御入力 5 2 a が変化する。また、光微動フィードバック制御系により、制御器出力 5 0 a も 0 に収束する。

なお、制御入力 5 2 a の変化に伴い光強度誤差には過渡特性が生じる。

【 0 0 8 5 】

つぎに、制御器出力補正值 4 3 （プリセット値）のキャリブレーション更新値と、メモリ 1 5 に格納されていた更新前の制御器出力補正值 4 3 （プリセット値）とを比較し、ランク分けする。

図 1 5 に示すように、更新後の更新前に対する相違の比が  $\pm N\%$  以内（図 1 5 の S 1 0 1）の場合には、ランク A とする（図 1 5 の S 1 0 2）。この場合には、制御入力に対して得られる反射ミラー角度に問題はなく、所定ポート間の接続及び通信が正常に行われると判断する。

## 【 0 0 8 6 】

ここでNは、光強度レベルが一定量以上変化しない範囲内のミラー角度変動に相当する比（更新前後の制御器出力補正值の比）であり、接続ポート、配置、スイッチ規模、スイッチ素子特性（角度－電圧）によって変化する数値である。

相違が $\pm N \sim \pm M\%$ （ $M > N$ ）の場合（図15のS103）、ランクA'と判断する（図15のS104）。このランクでは、所定ポート間の接続及び通信には問題ないが、反射ミラーを接続角度に制御するための制御入力に変化が見られると判断する。

## 【 0 0 8 7 】

ここでMは、通信に支障ない範囲内のミラー角度変動に相当する比（更新前後の制御器出力補正值の比）であり、諸条件によって変化する数値である。

相違が $\pm M\%$ 以上の場合（図15のS103）、ランクBとする（図15のS105）。このランクでは、制御器出力補正值（プリセット値）の変化が大きく、印加できる最大電圧においても所定ポート間接続に必要な反射ミラー角度が得られない。そのため、通信に支障があるとして使用不可と判断する。

その後、以上の判断結果を上位システム20に通知する。

## 【 0 0 8 8 】

なお、ここでは、ランク判断値を、キャリブレーション前後の制御器出力補正值の相違（比）として説明したが、過去のキャリブレーションにおける相違の全て、あるいは一部をメモリ15に記憶し、この相違の推移を判断基準としてもよい。

## 【 0 0 8 9 】

上記のように構成された第三実施形態によれば、キャリブレーションによる電圧補正值波形51aと基準値54aとの比較により自己診断を行い、ランク分けが可能になる。これにより、光スイッチ部14の不具合による通信障害などを事前に防止し、光スイッチサブシステム1及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

## 【 0 0 9 0 】

また、第三実施形態では、制御器出力補正值のキャリブレーションを行うため

、スイッチング動作における過渡特性を改善することができる。

例えば、ある入出力関係からスイッチング動作を開始して、別の入出力関係を構築する場合における効果を図 1 6 に示す。この図では、キャリブレーション前（制御器出力 3 5 が 0 以外の値を持つ場合）における光強度誤差の応答を波形 5 5 に示し、キャリブレーション後における光強度誤差の応答を波形 5 6 に示している。

つまり、図 1 6 は、スイッチング動作時の光強度誤差を、キャリブレーション前後で比較し、制御器出力補正值のずれによる応答の悪化が、キャリブレーションによって改善されることを示している。これにより、スイッチング時間を短縮したり、設計時間以内に収めることが可能になる。

【 0 0 9 1 】

#### 〔第四実施形態〕

つぎに、本発明の第四実施形態について、図 1 7 を参照して説明する。但し、前記各実施形態と共通する構成については、符号を援用し、詳細な説明を省略する。

図 1 7 は、第四実施形態におけるキャリブレーション動作（制御器出力補正值）を示すフローチャートである。

【 0 0 9 2 】

第四実施形態は、第三実施形態と同じフィードバック制御系を用いて制御器出力補正值のキャリブレーションを行うが、キャリブレーションの内容に相違点がある。

すなわち、第三実施形態では、制御器出力補正值テーブルを更新した後、過渡特性による応答波形の乱れが生じる場合がある。これに対して、第四実施形態では、制御器出力補正值テーブルの更新と同時に制御器の状態量の一部または全部をリセット（0 に設定）する（図 1 7 の S 1 0 6 b）。例えば、制御器 3 1 として P I D 制御器を用いた場合には、積分動作の状態量をリセットする。

【 0 0 9 3 】

また、第四実施形態においても、第三実施形態と同様に、制御器出力補正值 4 3（プリセット値）のキャリブレーション更新値と、メモリ 1 5 に格納されてい

た更新前の制御器出力補正值 4 3（プリセット値）とを比較し、ランク分けを行う。

#### 【 0 0 9 4 】

上記のように構成された第四実施形態によれば、第三実施形態と同様に、キャリブレーションによる電圧補正值波形 5 1 b と基準値 5 4 b との比較により自己診断を行い、ランク分けが可能になる。これにより、光スイッチ部 1 4 の不具合による通信障害などを事前に防止し、光スイッチサブシステム 1 及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

#### 【 0 0 9 5 】

また、第四実施形態では、第三実施形態と同様に、制御器出力補正值のキャリブレーションを行うため、スイッチング動作における過渡特性を改善することができる。

また、第四実施形態では、積分器の状態量をリセットするため、キャリブレーション終了時刻で電圧補正值 5 1 b のテーブル値を更新した際、制御器出力波形 5 0 b、制御入力波形 5 2 b、光強度誤差 5 3 b において、第三実施形態でみられたような過渡特性の乱れを改善することができる（図 1 8 を参照）。

#### 【 0 0 9 6 】

##### 〔第五実施形態〕

つぎに、本発明の第五実施形態について、図 1 9 を参照して説明する。但し、前記各実施形態と共通する構成については、符号を援用し、詳細な説明を省略する。

図 1 9 は、第五実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

#### 【 0 0 9 7 】

第五実施形態は、制御系の構成及びキャリブレーションの対象（光スイッチ部に入力する制御入力と、光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲイン）が、前記実施形態と相違している。

第五実施形態のフィードバック制御系は、制御対象 3 0 と、制御器 3 1 と、比較部 3 2 と、制御器出力補正部 4 0 と、信号加算部 4 1、6 1 と、ゲイン補正部

4 2 と、加振信号生成部 6 0 とを有する。

【 0 0 9 8 】

加振信号生成部 6 0 は、ゲイン補正部 4 2 の補正ゲインを算出するために、制御入力に加える信号を生成する部分である。加振信号生成部 6 0 は、加振信号 6 2 を出力する。加振信号 6 2 は、単一周波数の正弦波、複数の正弦波を重ね合わせた信号、ステップ状信号、ランプ状信号、白色雑音、白色雑音をフィルタを介して特定周波数を強調させた信号などであり、制御出力 3 3 を意図的に変化させる信号である。

【 0 0 9 9 】

信号加算部 6 1 は、複数の信号を加算してゲイン補正部入力 6 3 を算出する部分である。信号加算部 6 1 は、制御器出力 3 5 と電圧補正值 4 3 とを入力し、ゲイン補正部入力 6 3 を出力する。

【 0 1 0 0 】

また、第五実施形態においては、図 2 0 に示すような開ループ制御系を用いてもよい。図 2 0 に示す開ループ制御系は、制御対象 3 0 と、比較部 3 2 と、制御器出力補正部 4 0 と、信号加算部 4 1、6 1 と、ゲイン補正部 4 2 と、加振信号生成部 6 0 とを有する。

制御器出力補正值 4 3 は、ミラー角度を一定にし、加振信号 6 2 は、制御出力 3 3 を変化させる。

【 0 1 0 1 】

つぎに、第五実施形態における補正ゲインのキャリブレーション動作について、図 2 1 を参照して説明する。

図 2 1 は、第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）を示すフローチャートである。

【 0 1 0 2 】

この図に示すように、補正ゲインのキャリブレーション動作は、開始コマンドを受けて制御系を選択する（図 2 1 の S 1 1 1）。ここでキャリブレーション制御系は、例えば図 1 9 のフィードバック制御系、図 2 0 の開ループ制御系などである。

つぎに、補正ゲインを計算するために、補正制御器出力 4 4 に加振信号 6 2 を加える（図 2 1 の S 1 1 2）。続いて、制御系を切り替え加振信号 6 2 を加えたことによる過渡特性が収まるまで、P サンプリング（P は任意の数）の間、補正值演算の開始を待つ（図 2 1 の S 1 1 3）。

#### 【 0 1 0 3 】

過渡特性待ちが終了したあと、新たに Q サンプリング（Q は任意の数）時間が経過したかどうかを判定する（図 2 1 の S 1 1 4）。Q サンプリング時間が経過しない場合には、制御器出力の平均化など、補正ゲインを算出するために必要な変数の更新を行い（図 2 1 の S 1 1 5）、制御動作を続ける。

Q サンプリング時間が経過した後、補正ゲインを確定させ、メモリ 1 5 内に格納されている補正ゲインテーブルを更新する（図 2 1 の S 1 1 6）。さらに、ゲイン補正部 4 2 の補正ゲインの変更分を制御器出力補正值 4 3 に反映させ、制御器出力補正值テーブルを更新する（図 2 1 の S 1 1 7）。そして、キャリブレーション動作を終了する。

#### 【 0 1 0 4 】

つぎに、上記キャリブレーション動作の具体例として、図 2 0 の開ループ制御系を選択し、加振信号として単一周波数の正弦波加えた場合のキャリブレーション動作について、図 2 2 を参照して説明する。

#### 【 0 1 0 5 】

図 2 2 は、第五実施形態における加振信号と光強度の応答波形を示す波形図である。

ここでは、キャリブレーション開始とともに加振信号を加え、P サンプリングの間待つ。つぎに、補正ゲインを算出するための変数を更新する。この例では、算出変数として駆動電圧の振幅と光強度の振幅を用いる。この振幅比は加振信号の加振周波数における制御対象のゲインであるため、実際のミラーのゲインを算出することができる。

#### 【 0 1 0 6 】

さらに、ここで算出した振幅比と設計モデルで用いたゲインの比を補正ゲインとして定義する。例えば、この加振周波数における設計モデルのゲインを  $G_1$ 、



算出した振幅比を  $G_2$  とした場合、 $G_1 / G_2$  を補正ゲインとし、ゲイン補正部 4 2 でゲイン補正部入力 6 3 に  $G_1 / G_2$  を掛けて制御入力 4 5 とする。

あるいは、 $(G_1 / G_2 - 1)$  を補正ゲインとして、ゲイン補正部でゲイン補正部入力 6 3 に、 $(G_1 / G_2 - 1)$  をゲイン補正部入力に掛けた値を加算して制御入力 4 5 とする。

なお、ここでは、加振信号として単一周波数の正弦波を用いたが、加振信号の重ね合わせた信号やステップ状信号信号、矩形波、三角波などの制御出力を変動させる信号を用いてもよい。

#### 【0107】

つぎに、制御器出力補正值におけるキャリブレーションの場合と同様に、補正ゲインのキャリブレーション更新値とメモリ 1 5 に格納されていた更新前の補正ゲインとを比較し、ランク分けを行う。なお、ここで使用するランク分けルーチンは、第三実施形態のものと同じである。（図 1 5 を参照）

#### 【0108】

更新後の更新前に対する相違の比が  $\pm N\%$  以内の場合には、ランク A とする。この場合には、印加電圧－反射ミラー角度変換ゲインの変化は少なく、所定ポート間が接続され、通信が正常に行われると判断する。

ここで  $N$  は、光強度レベルが一定量以上変化しない範囲内のミラー角度変動に相当する比（更新前後の補正ゲインの比）であり、接続ポート、配置、スイッチ規模、スイッチ素子特性によって変化する数値である。

#### 【0109】

相違が  $\pm N \sim \pm M\%$  ( $M > N$ ) の場合、ランク A' と判断する。このランクでは、所定ポート間の接続及び通信には問題ないが、印加電圧－反射ミラー角度変換ゲインに変化が見られると判断する。

ここで  $M$  は、通信に支障ない範囲内のミラー角度変動に相当する比（更新前後の補正ゲインの比）であり、諸条件によって変化する数値である。

#### 【0110】

相違が  $\pm M\%$  以上の場合、ランク B とする。このランクでは、補正ゲインの変化が大きく、印加できる最大電圧においても所定ポート間接続に必要な反射ミラ

一角度が得られない。そのため、通信に支障があるとして使用不可と判断する。

その後、以上の判断結果を上位システム 2 0 に通知する。

【 0 1 1 1 】

なお、ここでは、ランク判断値を、キャリブレーション前後の補正ゲインとして説明したが、過去のキャリブレーションにおける相違の全て、あるいは一部をメモリ 1 5 に記憶し、この相違の推移を判断基準としてもよい。

【 0 1 1 2 】

上記のように構成された第五実施形態によれば、キャリブレーションの対象となる補正ゲインの値にもとづいて自己診断を行い、ランク分けが可能になる。これにより、光スイッチ部 1 4 の不具合による通信障害などを事前に防止し、光スイッチサブシステム 1 及び光通信システムの信頼性を向上させることができる。

【 0 1 1 3 】

また、第五実施形態では、補正ゲインのキャリブレーションを行うため、スイッチング動作における過渡特性を改善することができる。

図 2 3 に示すように、例えば、反射ミラーのゲインが制御対象の設計モデルからずれてしまうと（1 0 % 増加）、応答波形 7 2 に示すようなオーバーシュートが生じ、ある一定の整定時間が必要になる。

これに対して、キャリブレーションにより補正ゲインを更新した場合は、応答波形 7 3 に示すように、オーバーシュートが抑制され、整定時間を短縮することができる。

【 0 1 1 4 】

なお、第五実施形態においては、以下に示すキャリブレーション動作を行うようにしてもよく、これを第五実施形態の第 2 実施例として説明する。

図 2 4 は、第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）の第 2 実施例を示す波形図である。

この実施例では、図 2 1 の開ループ制御系を選択し、加振信号 6 2 として定常値が一定となる入力を加えて制御出力 3 3 をオフセットさせ、加振信号 6 2 の定常値と制御出力の定常値から補正ゲインを算出する。

【 0 1 1 5 】

図 2 4 を参照すると、加振信号 6 2 としてステップ状入力を加え、制御入力波形 8 0 を制御対象 3 0 に入力する。この入力によって反射ミラーが駆動され、制御出力波形 8 1 の応答を得る。

補正ゲイン算出変数として制御入力の平均値と制御出力の平均値を用いることにより、これらの比から制御対象ゲインを算出する。

この第 2 実施例においても、前記第 1 実施例と同様に、補正ゲインのキャリブレーション更新値と、メモリ 1 5 に格納されていた更新前の補正ゲインとを比較し、ランク分けを行う。

#### 【 0 1 1 6 】

図 2 5 は、第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）の第 3 実施例を示す波形図である。

この実施例では、キャリブレーション時間を短縮するために、加振信号 6 2 として、定常値までランプ状に変化する信号を用い、制御入力波形 8 2 を制御対象 3 0 に入力する。この入力によって反射ミラーが駆動され、制御出力波形 8 3 の応答を得る。補正ゲイン算出変数として制御入力の平均値と制御出力の平均値を用いることにより、これらの比から制御対象ゲインを算出する。

#### 【 0 1 1 7 】

この実施例によれば、第 1 実施例と同様の効果が得られることに加えて、図 2 5 に示すように過渡特性が改善されるので、キャリブレーション動作に要する時間を短縮することができる。

#### 【 0 1 1 8 】

なお、本発明は、前記実施形態に限定されるものではない。例えば、自己診断にて故障と診断したとき、キャリブレーションを実行し、その後、自己診断を再度実行し、ここで故障と診断したとき、上位システム 2 0 に通知を行うようにしてもよい。この場合には、故障診断の原因が、キャリブレーションによって解消されることを期待でき、また、故障診断の原因が、キャリブレーションによって解消された場合には、上位システムへの通報を回避することができる。

#### 【 0 1 1 9 】

また、前記実施形態では、スイッチング時や光信号通信時に、上位システムか

らの命令によることなく、動作特性の自己診断を行うが、上位システムから命令を受けたとき、自己診断を行うようにしてもよい。

#### 【0120】

また、前記実施形態では、上位システムからの命令によることなく、光スイッチサブシステムの起動時及び所定時間毎にキャリブレーションを行っているが、上位システムから命令を受けたとき、キャリブレーションを行うようにしてもよい。

#### 【0121】

また、光スイッチ部に入力する制御入力値を自己診断する場合は、制御入力値そのものを自己診断することなく、制御入力値を算出するために用いる制御器内部の状態変数（状態量）を自己診断するようにしてもよい。

例えば、上記状態変数には、制御器内部で制御出力を推定するオブザーバ（制御対象数式モデル）の推定ミラー角度や推定ミラー角速度、PID制御器における積分器の状態量などが含まれる。

#### 【0122】

また、キャリブレーションを、光スイッチ部に入力する制御入力と、光スイッチ部の制御出力との変換補正ゲインを対象として行う場合には、制御出力として、前述したミラー角度、XY座標値、光強度測定値などを用いることができる。

#### 【0123】

#### 【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、光スイッチサブシステム内の動作特性について自己診断を行うことができる。これにより、光スイッチサブシステムの信頼性を高めることができるとともに、上位システムの負担を軽減して、光通信システムの性能を向上させることができる。

#### 【0124】

また、光スイッチ部の動作制御に関するキャリブレーションを行うことにより、光スイッチ部の経時変化による応答の悪化を改善し、スイッチング時間を短縮することができる。しかも、このキャリブレーションは、サブシステム側の判断で実行できるため、上位システムの負担を軽減し、光通信システムの性能を向上

させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第一実施形態における光スイッチサブシステムの概略構成を示すブロック図である。

【図 2】

第一実施形態におけるサブシステム制御部の機能構成を示すブロック図である。

【図 3】

第一実施形態におけるスイッチモジュール制御部の機能構成を示すブロック図である。

【図 4】

第一実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

【図 5】

第一実施形態における光スイッチサブシステムの全体動作を示すフローチャートである。

【図 6】

第一実施形態における自己診断動作（スイッチング時）を示すフローチャートである。

【図 7】

自己診断動作におけるスイッチ動作指示を示すフローチャートである。

【図 8】

自己診断動作におけるスイッチングモードミラー駆動を示すフローチャートである。

【図 9】

自己診断動作におけるランク判断を示すフローチャートである。

【図 10】

第二実施形態における自己診断動作（光信号通信時）を示すフローチャートである。

【図 1 1】

自己診断動作におけるランク判断を示すフローチャートである。

【図 1 2】

第三実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

【図 1 3】

第三実施形態におけるキャリブレーション動作（制御器出力補正值）を示すフローチャートである。

【図 1 4】

第三実施形態における作用を示す波形図である。

【図 1 5】

第三実施形態におけるランク分け処理を示すフローチャートである。

【図 1 6】

第三実施形態における効果を示す波形図である。

【図 1 7】

第四実施形態におけるキャリブレーション動作（制御器出力補正值）を示すフローチャートである。

【図 1 8】

第四実施形態における効果を示す波形図である。

【図 1 9】

第五実施形態におけるフィードバック制御系の構成を示すブロック図である。

【図 2 0】

第五実施形態における開ループ制御系の構成を示すブロック図である。

【図 2 1】

第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）を示すフローチャートである。

【図 2 2】

第五実施形態における加振信号と光強度の応答波形を示す波形図である。

【図 2 3】

第五実施形態の効果を示す波形図である。

【図 2 4】

第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）の第 2 実施例を示す波形図である。

【図 2 5】

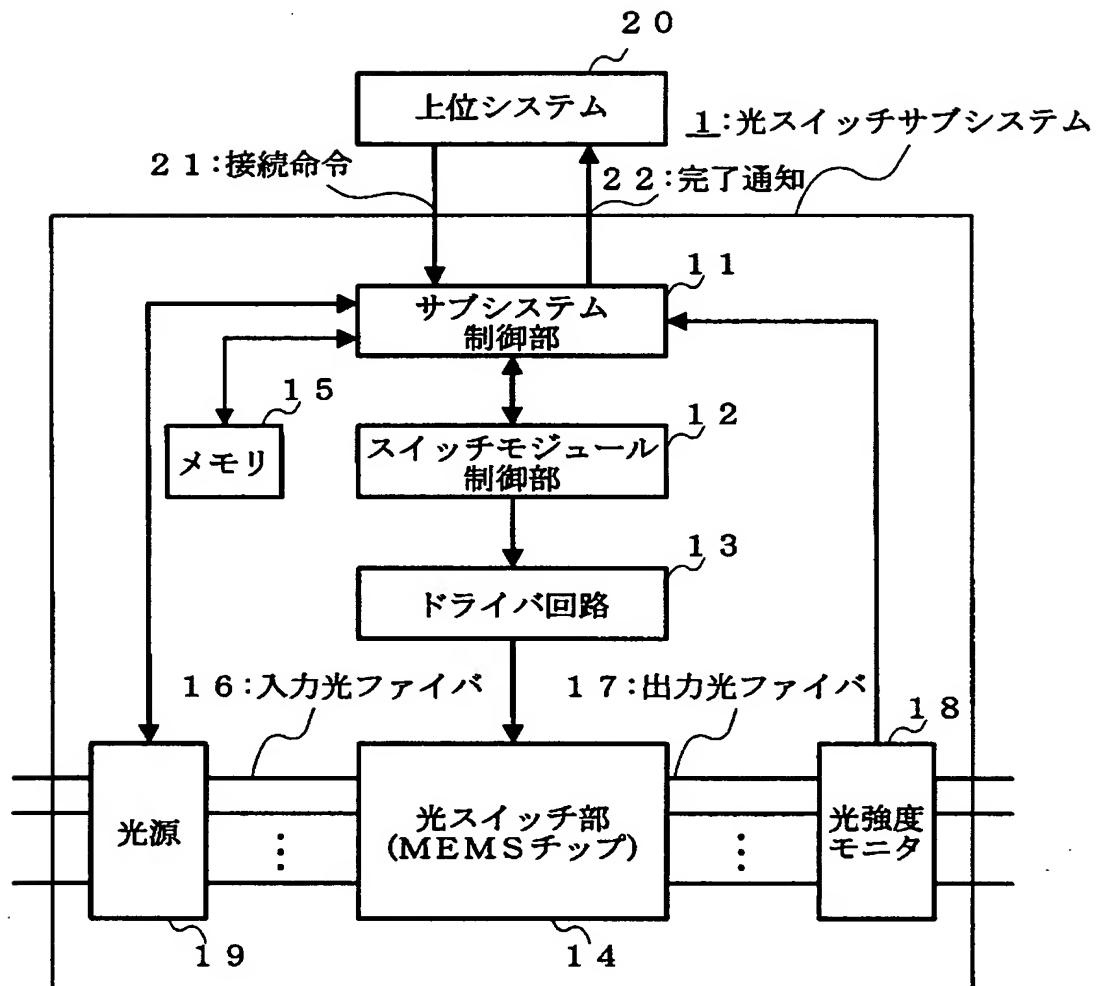
第五実施形態におけるキャリブレーション動作（補正ゲイン）の第 3 実施例を示す波形図である。

【符号の説明】

- 1 光スイッチサブシステム
  - 1 1 サブシステム制御部
  - 1 2 スイッチモジュール制御部
  - 1 3 ドライバ回路
  - 1 4 光スイッチ部
  - 1 5 メモリ
  - 1 6 入力光ファイバ
  - 1 7 出力光ファイバ
  - 1 8 光強度モニタ
  - 1 9 光源
- 2 0 上位システム
  - 1 1 1 CPU
  - 1 1 2 タイマ
  - 1 1 3 光強度測定器
  - 1 2 1 CPU
  - 1 2 2 スイッチング回路

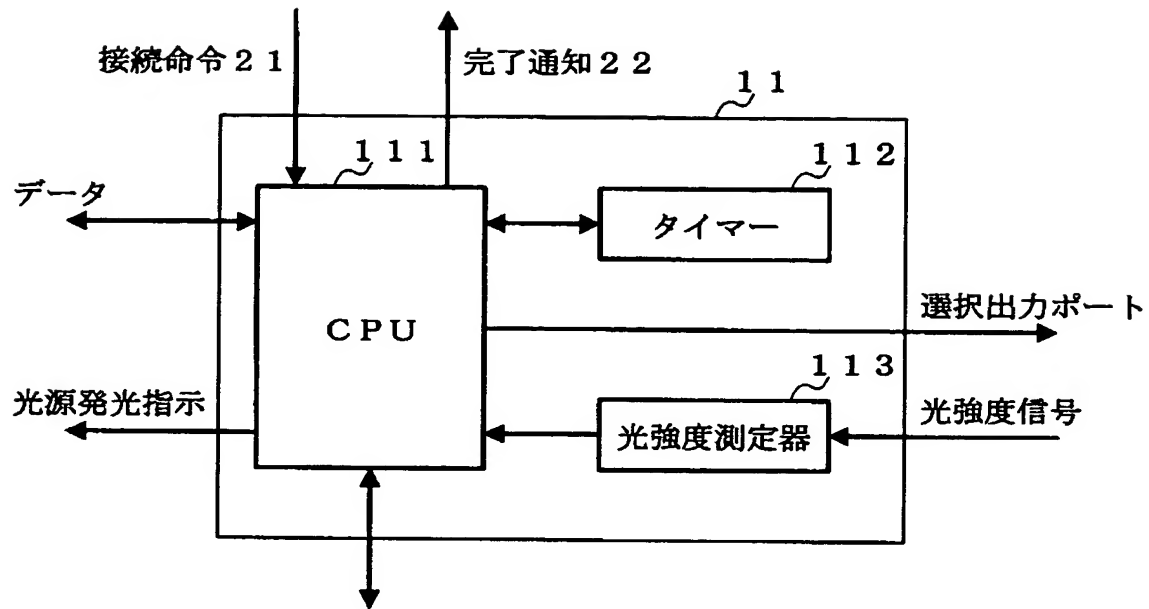
【書類名】 図面

【図 1】

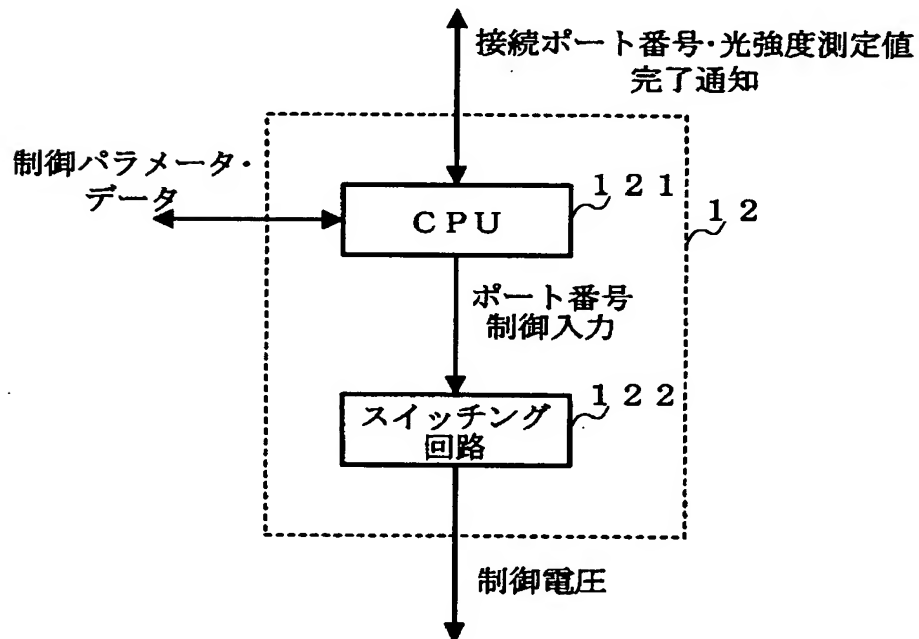




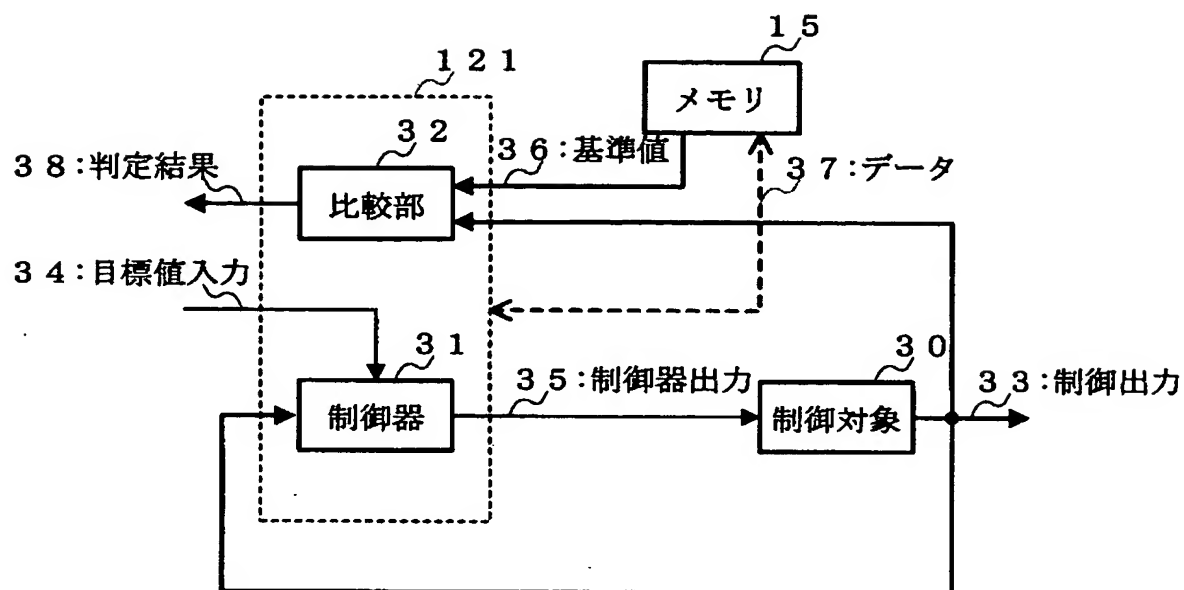
【図 2】



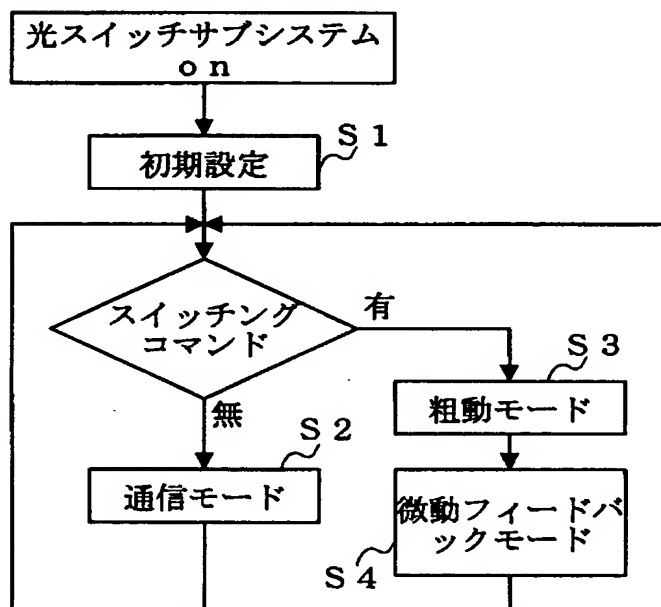
【図 3】



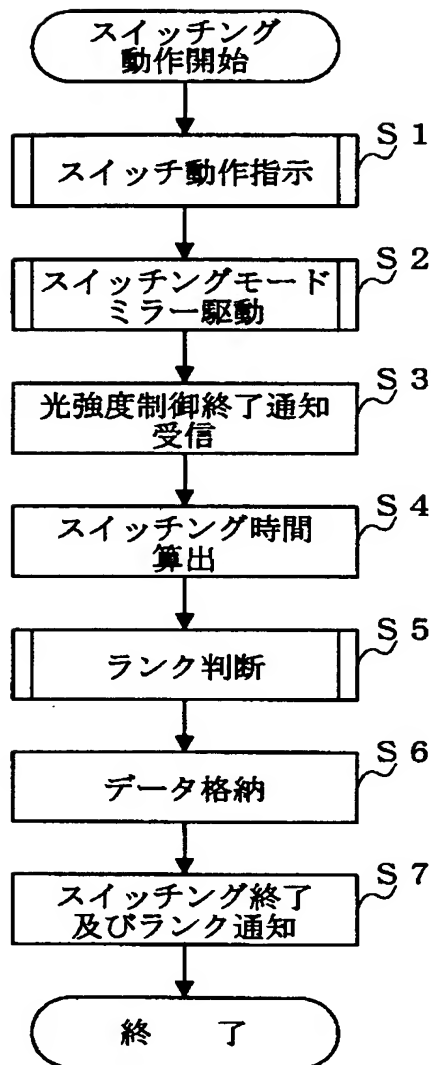
【図 4】



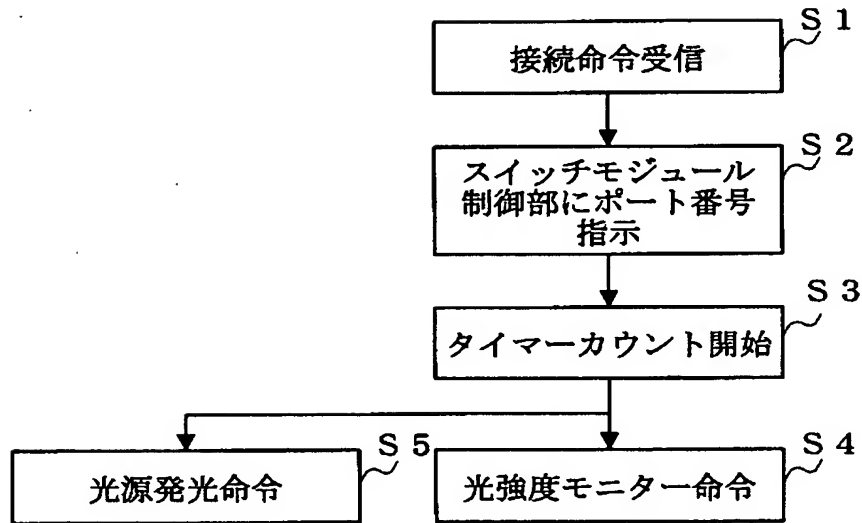
【図 5】



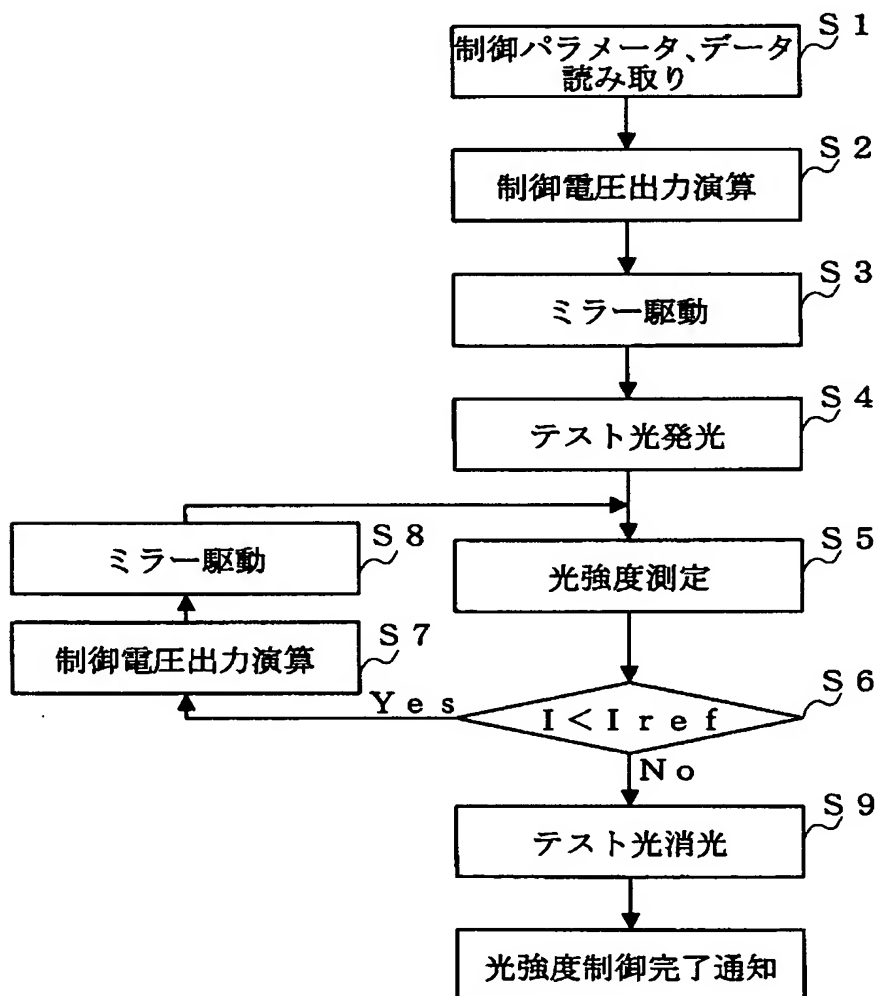
【図 6】



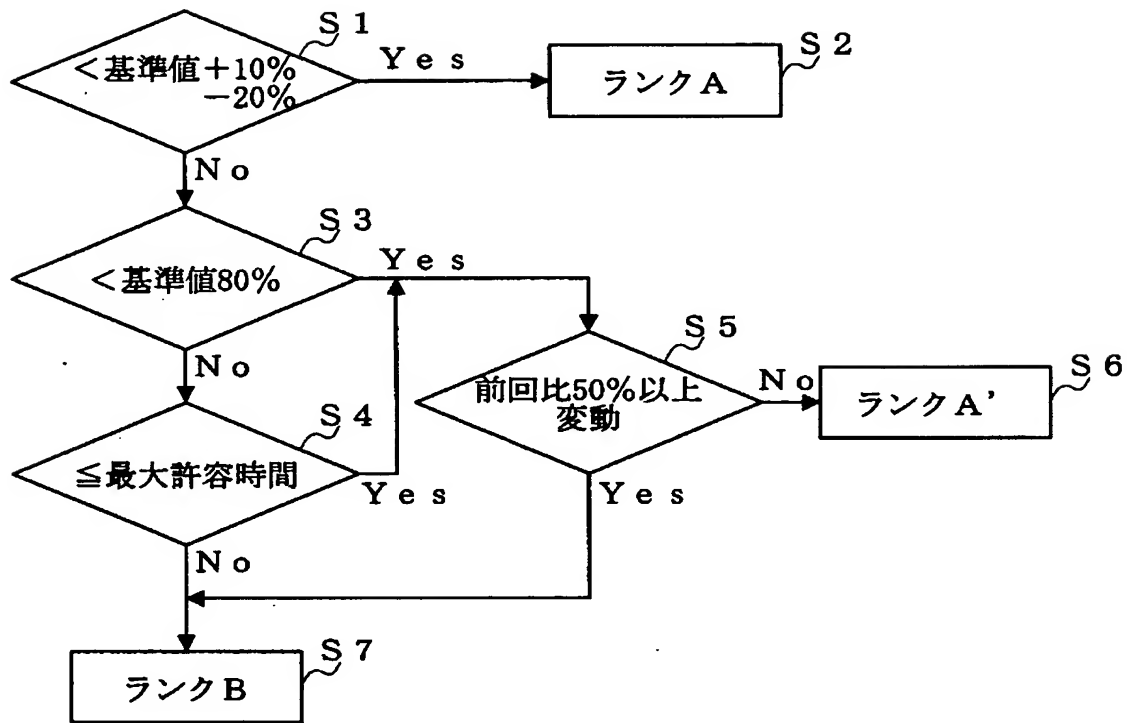
【図 7】



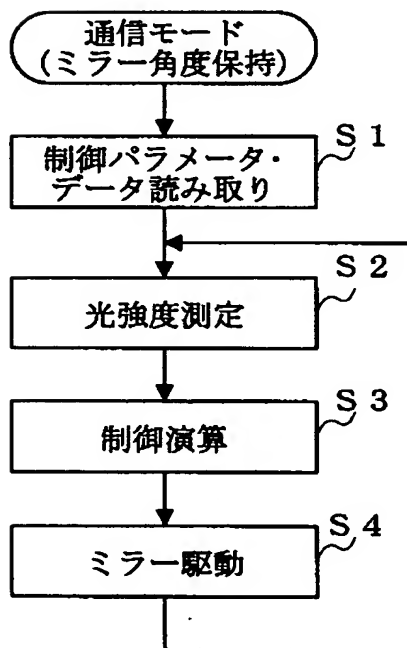
【図 8】



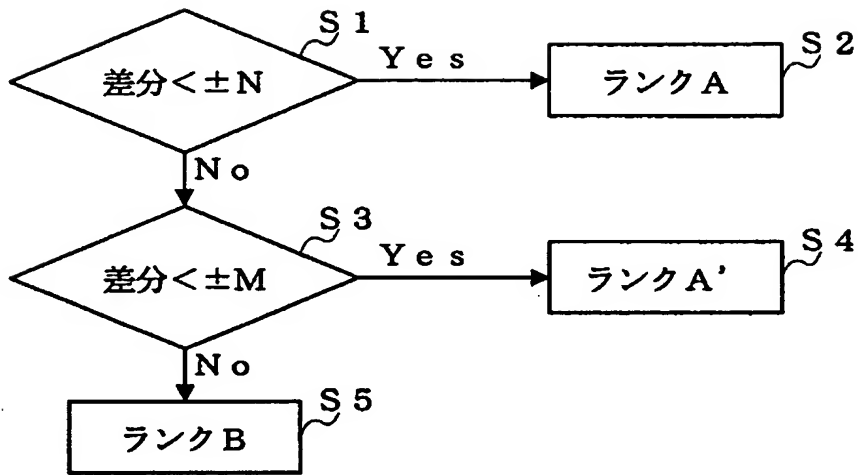
【図 9】



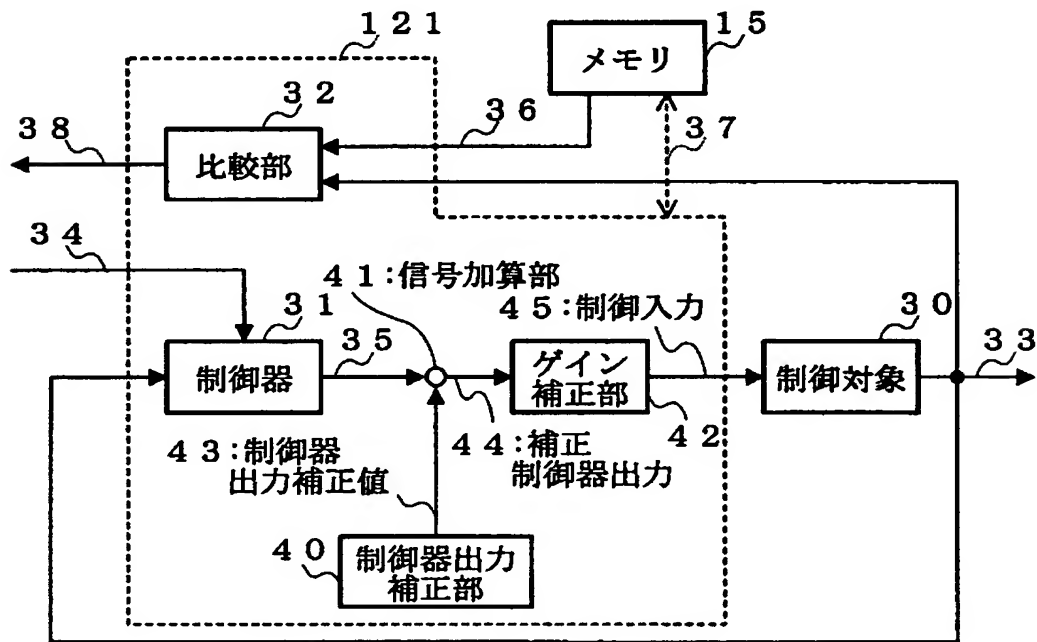
【図 10】



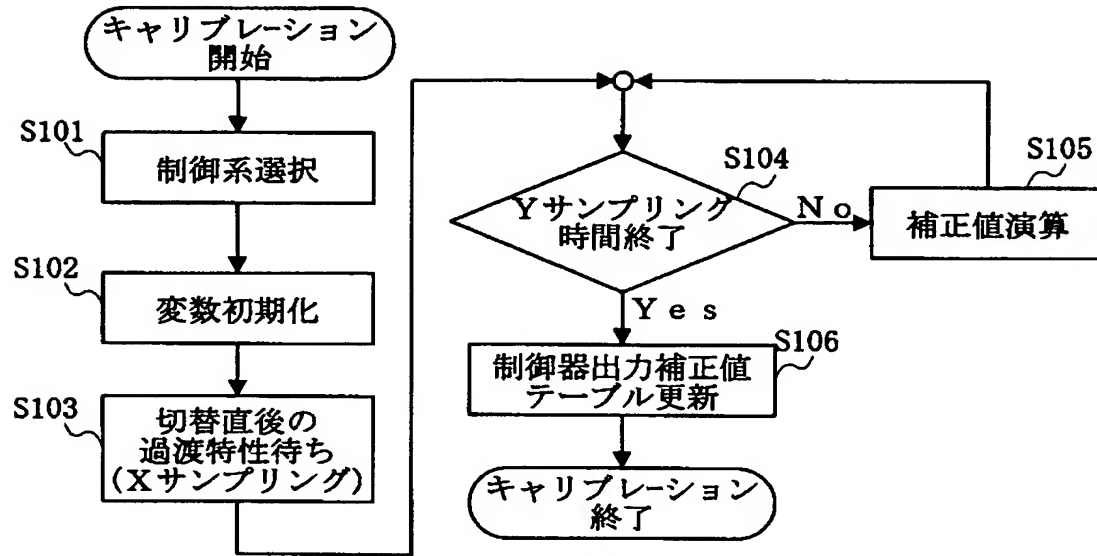
【図 1 1】



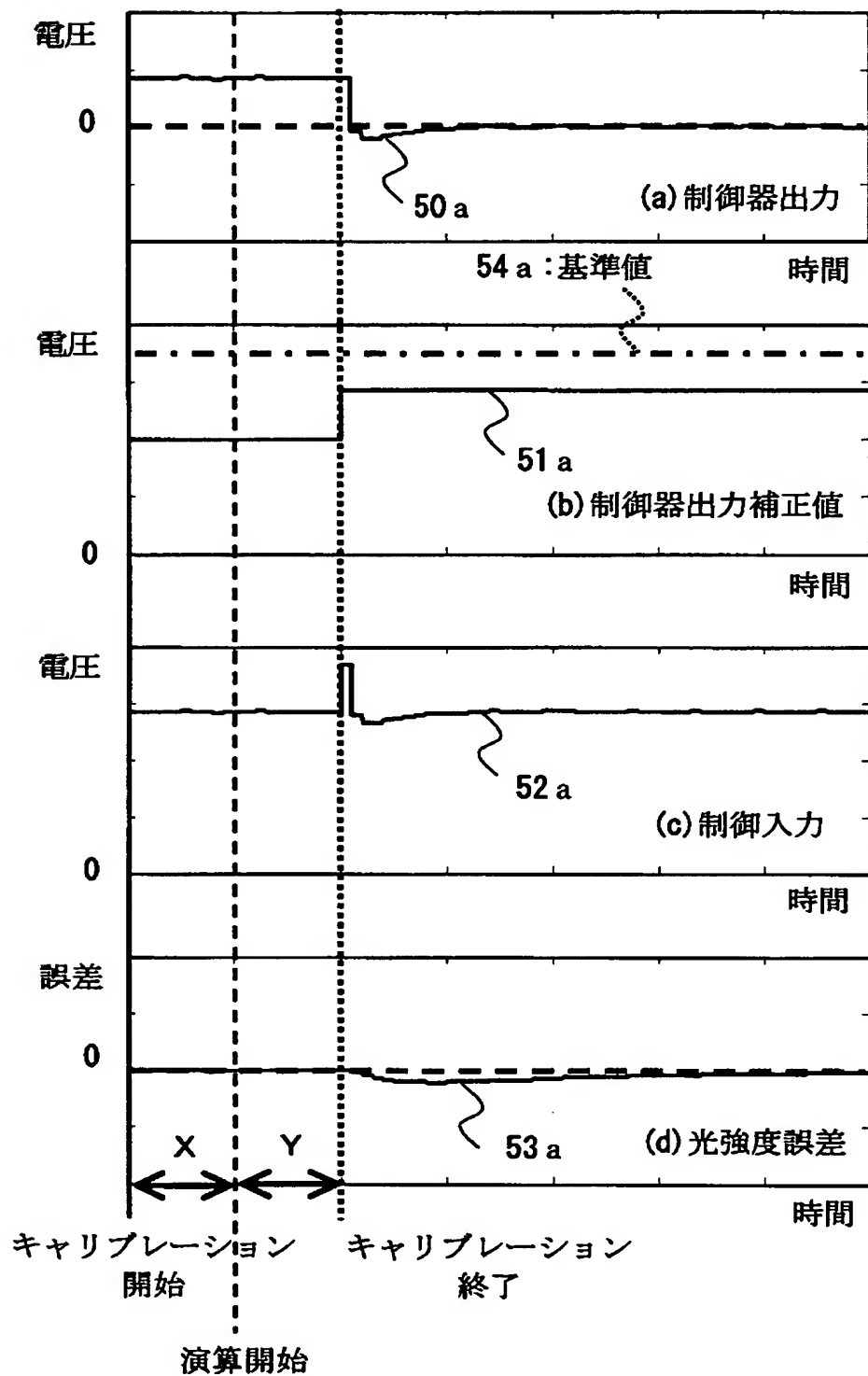
【図 1 2】



【図13】

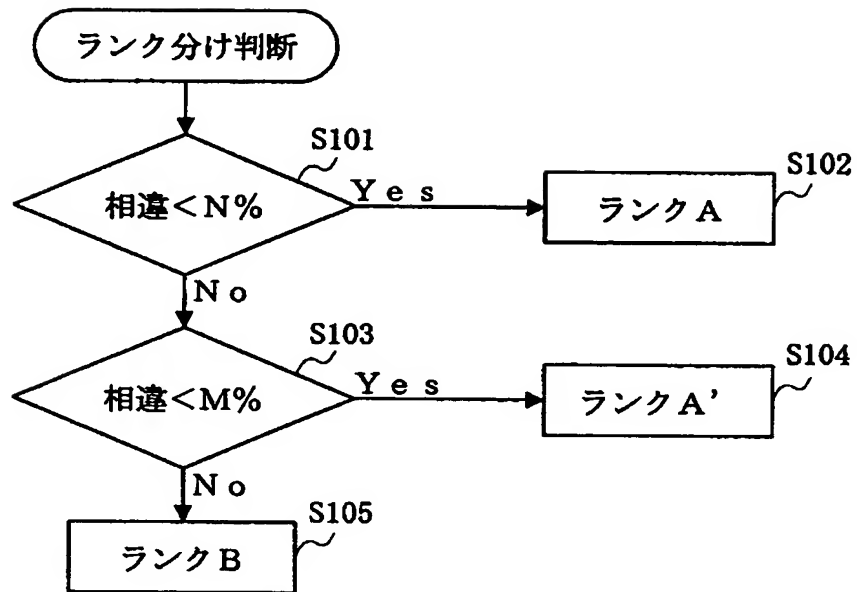


【図 1 4】

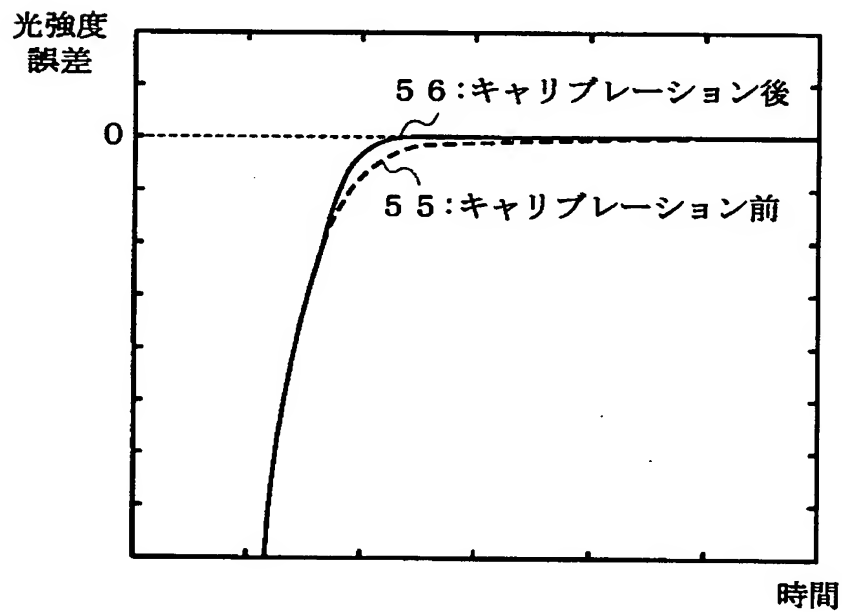




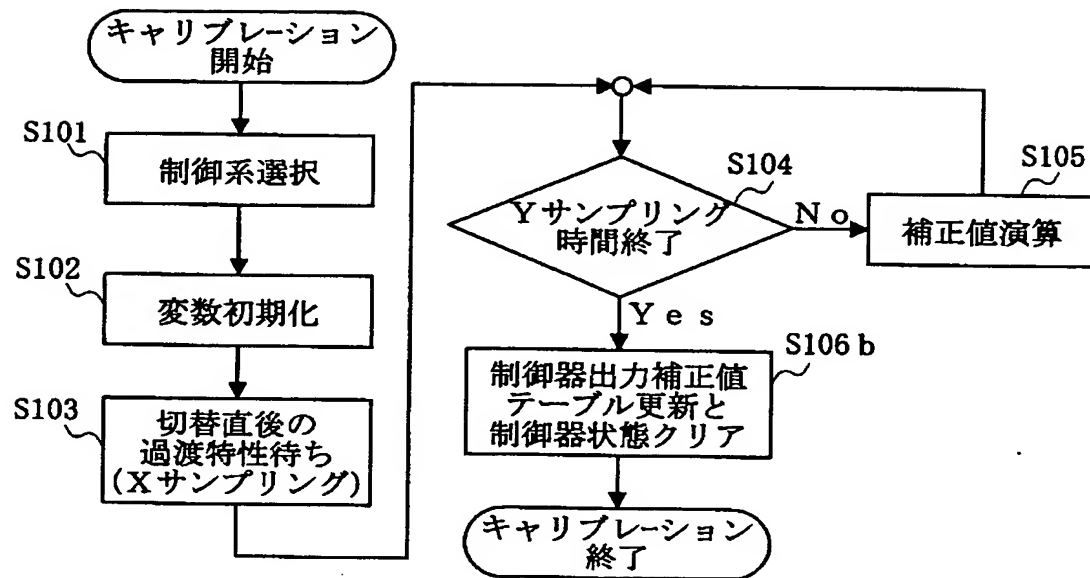
【図 1 5】



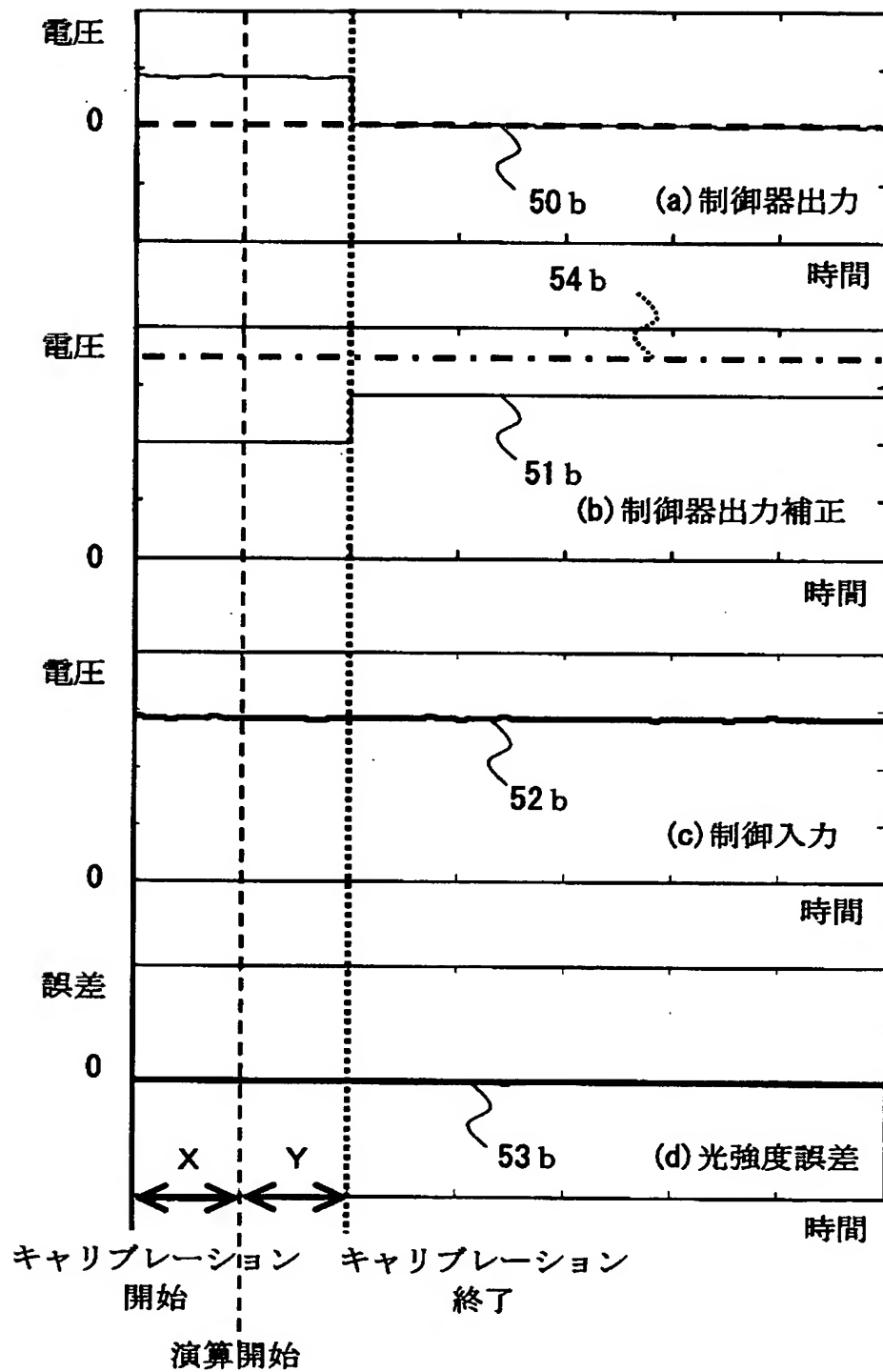
【図 1 6】



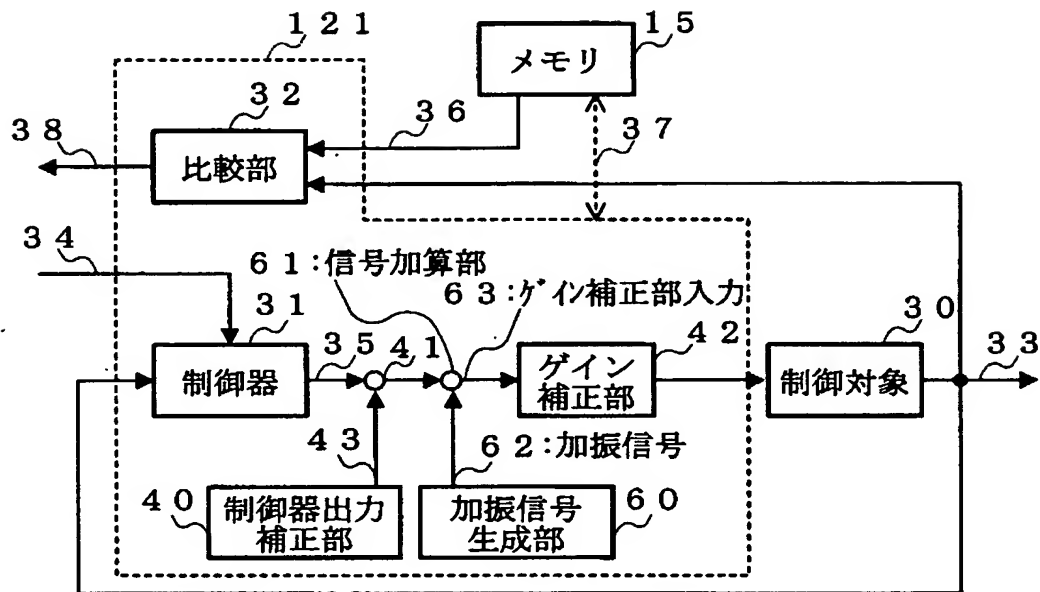
【図 1 7】



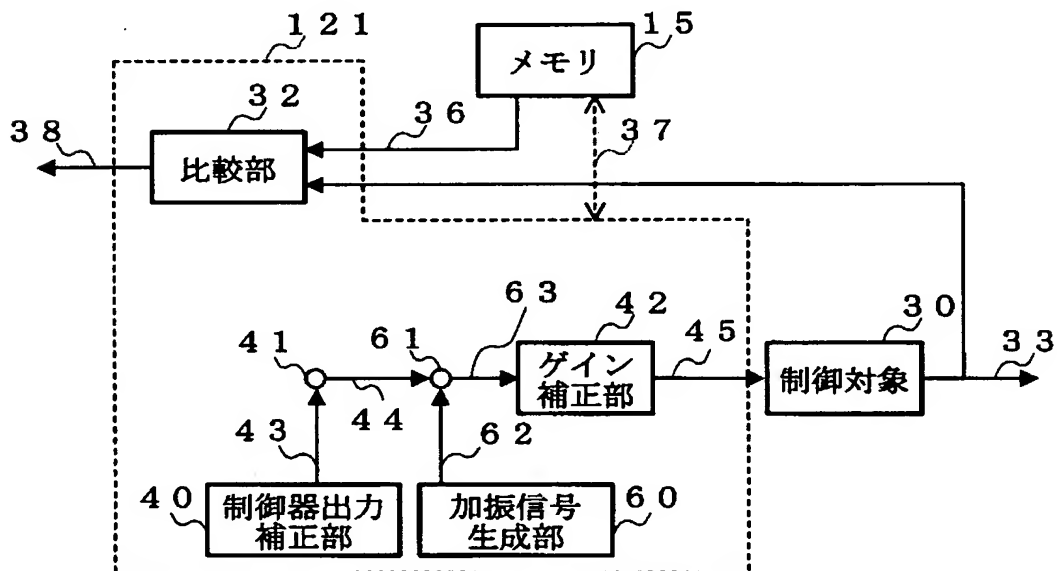
【図 1 8】



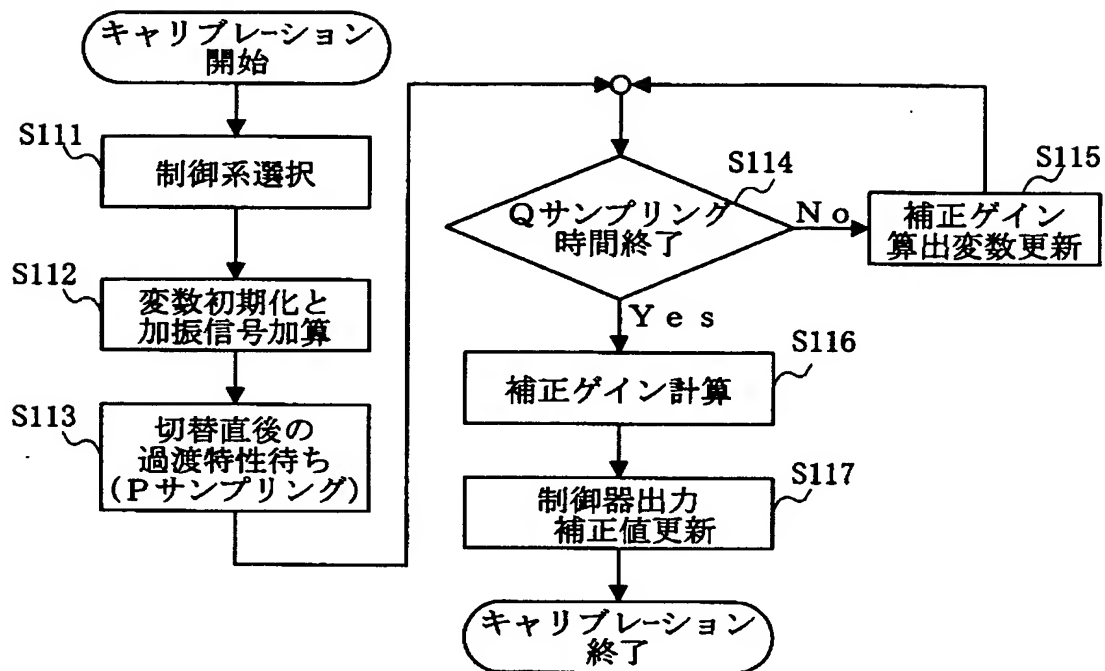
【図19】



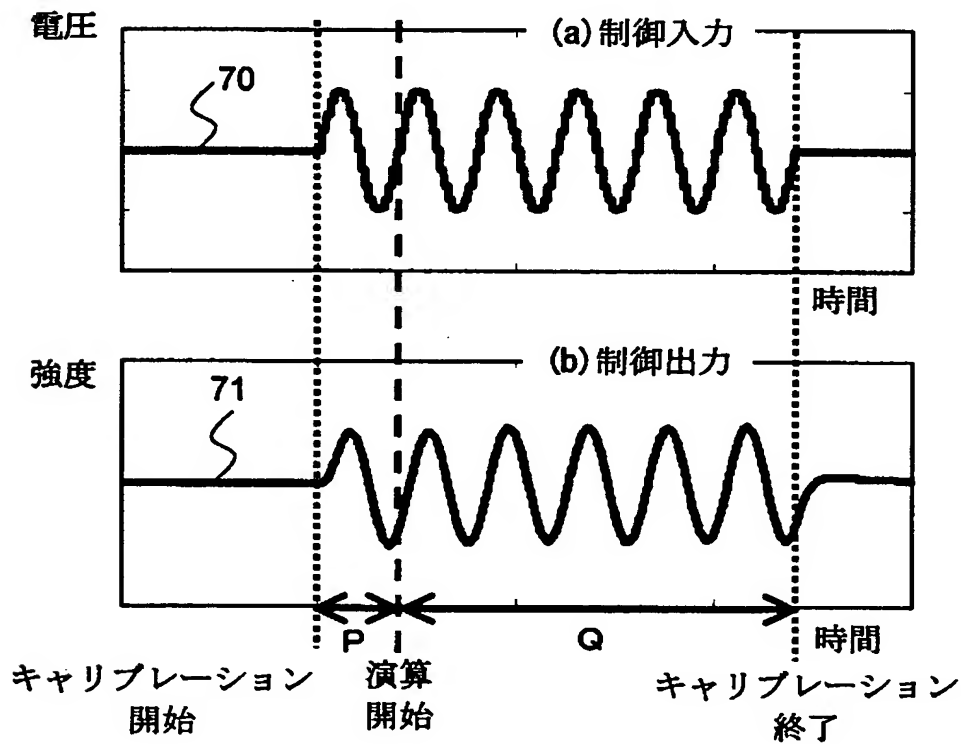
【図20】



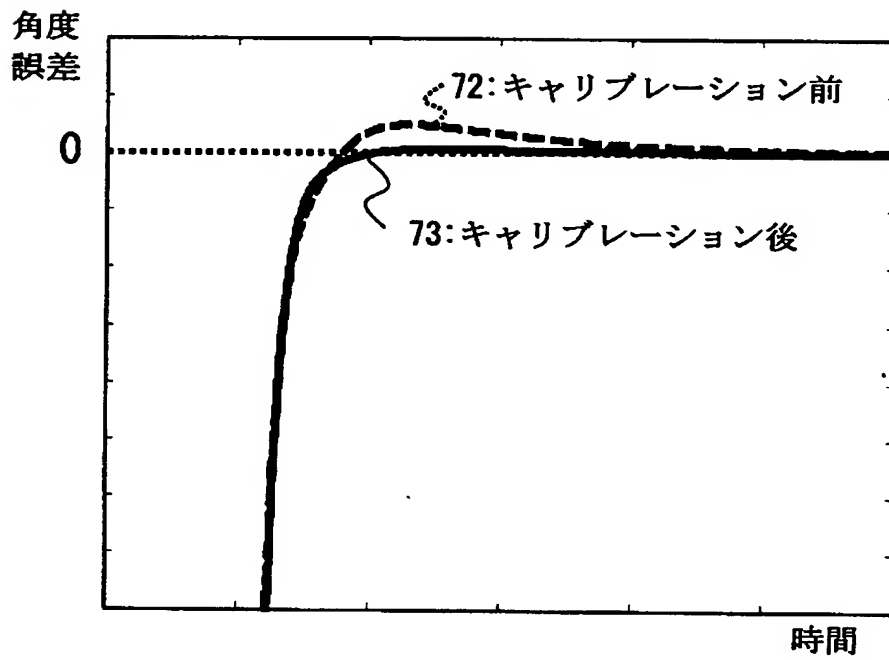
【図 2 1】



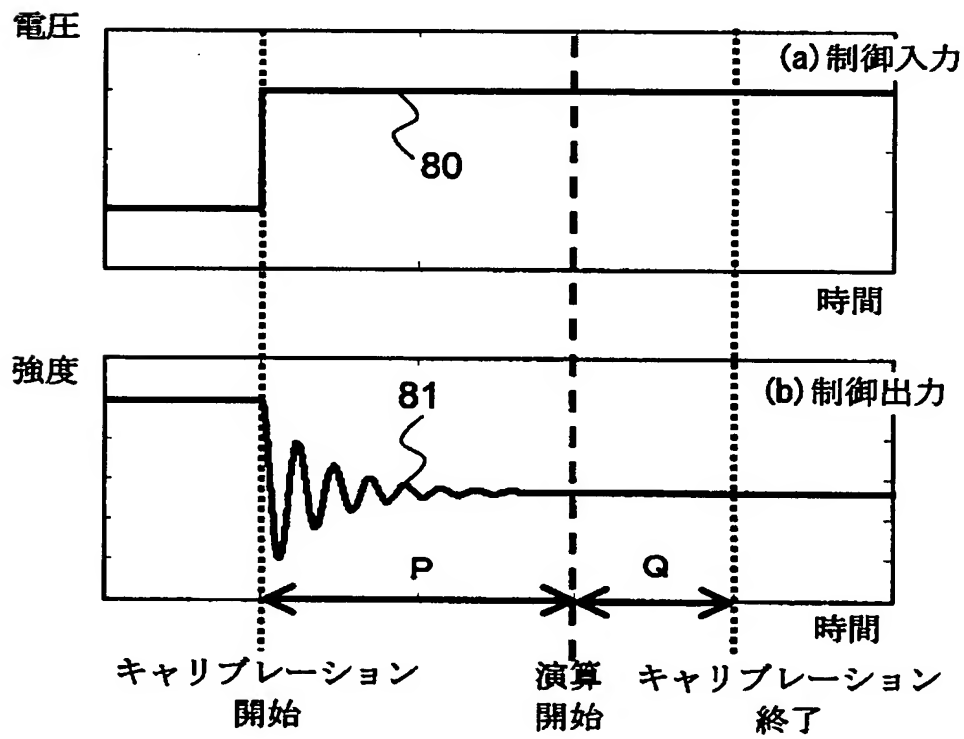
【図 2 2】



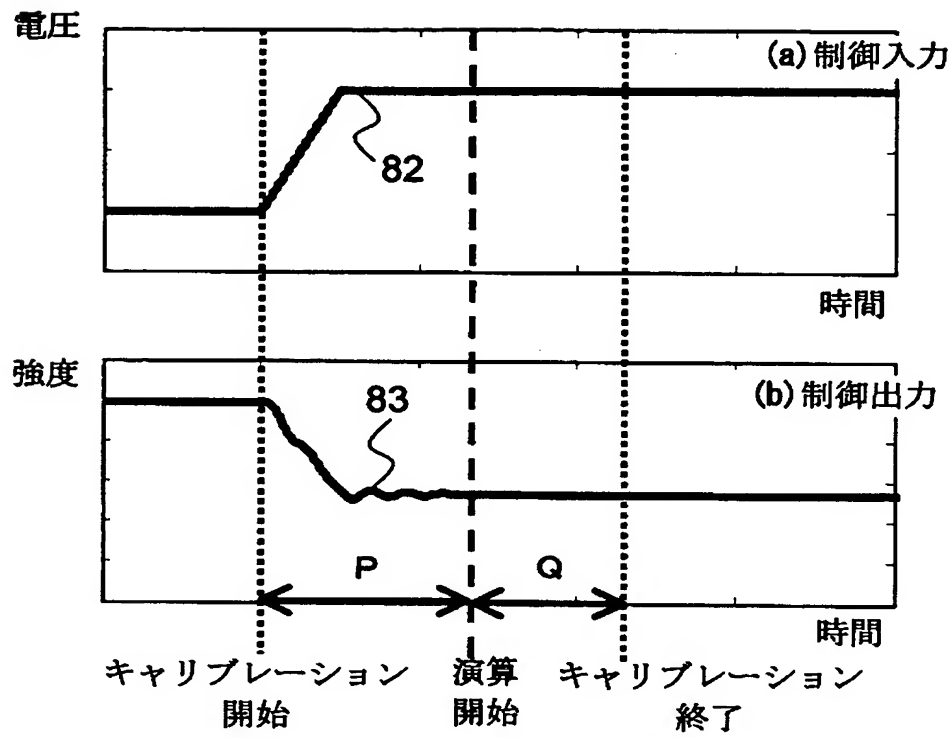
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光スイッチサブシステムの信頼性及び性能を向上させる。

【解決手段】 微小電気機械（MEMS）を用いて光路のスイッチングを行う光スイッチサブシステム1において、光スイッチサブシステム1の動作特性を測定し、その測定結果に関して自己診断を行う。自己診断の結果は、上位システム20に通知して故障判断に用いる。

また、光スイッチ部14の動作制御に関するキャリブレーションを行い、光スイッチ部14における応答性の悪化を改善する。

【選択図】 図1



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 2 3 7 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
氏 名	日本電気株式会社